



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
**Facultad de Tecnología de la Construcción**

**Monografía**

**EVALUACIÓN DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL  
MUNICIPIO DE MASATEPE, DEPARTAMENTO DE MASAYA**

Para optar al Título de Ingeniero Civil

**Elaborado por:**

Br. Xiomara de los Ángeles Potosme Hernández

Br. Yakarely del Carmen Berrios Monzón

**Tutor:**

Ing. María Elena Baldizón Aguilar

Managua, Octubre 2019



## **DEDICATORIA**

Proverbios 1:8

*Oye, hijo mío, la instrucción de tu padre, y no desprecies la dirección de tu madre.*

Dedico el tema a la persona que me ha inspirado, me ha acompañado como ninguna otra lo haría, a ese ser humano que me dio la vida y que es de ejemplo a seguir : mi madre Sra. Sofía Hernández Medina.

*Madre este logro no es mío, sino tuyo por el esfuerzo y dedicación con el que pacientemente has esperado a través del pasar del tiempo.*

### **Salmos 138:8**

*¡El Señor llevará a feliz término su acción a mi favor!*

*Señor, tu amor es eterno;*

*¡No dejes incompleto lo que has emprendido!*

***Xiomara de los Ángeles Potosme Hernández***

## DEDICATORIA

### *A Dios*

Por regalarme el don de la Vida, de la Sabiduría, por permitirme culminar mi segunda carrera profesional y por escucharme en cada momento de mi vida.

### *A mi Madre*

Sra. Rosalpina Monzón Blandón  
porque ha sido la mejor Madre del mundo, por escucharme, por guiarme y sobre todo por impulsarme a seguir siempre adelante.

### *A mi Esposo*

Ing. Manuel Hernández Téllez, gracias  
por estar siempre a mi lado,  
animándome, apoyándome en cada etapa de mi vida.

*Yakarely del C. Berrios Monzón*

## **AGRADECIMIENTO**

### **Efesios 2:10**

*Porque somos hechura suya, creados en Cristo Jesús para buenas obras, las cuales Dios preparó de antemano para que anduviésemos en ellas.*

*Agradezco a Dios en primer lugar, porque sin él no somos nada, sin él esto no hubiese sido posible, en segundo lugar, a mis padres Sr. Osmar Potosme Useda y **Sra. Sofia Hernández Medina** que me han acompañado a lo largo de la vida sin duda alguna y en tercer lugar a todas y todos los que han colaborado para que esto sea posible, especialmente a la Ing. Craudy Norori y por supuesto a mi compañera de tema **Ing. Yakarely Berríos Monzón**.*

### **Salmo 138**

*Te daré gracias, Señor, de todo corazón; te cantaré himnos delante de los Dioses.  
Me arrodillaré en dirección a tu santo templo para darte gracias por tu amor y tu verdad, pues has puesto tu nombre y tu palabra por encima de todas las cosas.  
Cuando te llame, me respondiste, y aumentaste mis fuerzas.*

**Xiomara de los Ángeles Potosme Hernández**

## **AGRADECIMIENTO**

*A Dios*

Gracias por permitirme terminar este nuevo proyecto de vida, por regalarme salud, sabiduría, paciencia.

*A mi Madre*

Por ser mi motor cada día, guiándome, aconsejándome y sobre todo por impulsarme a seguir adelante cada día, y a inculcarme el amor a Dios y a nuestra Virgen Santísima.

*A mi Esposo:*

Por ser mi compañero, mi consejero, mi mejor amigo, gracias por estar conmigo.

*A la Empresa Nicaragüense de  
Acueductos y Alcantarillados*

*(ENACAL):*

De manera especial a la Ing. Craudy Esperanza Norori Roque-Jefe de Saneamiento Nacional, por brindarnos información necesaria para poder desarrollar dicho trabajo monográfico.

Sr. Humberto González – Operador de PTAR – Masatepe por su colaboración en la realización de esta monografía.

A nuestra Tutora Ing. María Elena Baldizón Aguilar por su tiempo, dedicación y apoyo en la realización de este tema monográfico.

*Yakarely del C. Berrios Monzón*

## RESUMEN

El estudio se hizo con el propósito de evaluar la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, del Municipio Masatepe, Departamento de Masaya, entre los meses de Septiembre 2018 - Mayo 2019, para determinar la operatividad conforme a las normativas de Decreto 33-95 y según el decreto N°21-2017 “reglamento en el que se establece las disposiciones para el vertido de aguas residuales” de MARENA, el cual tiene por objetivo fijar los valores máximos permisibles o rangos de los vertidos líquidos generados por las actividades domésticas, industriales y agropecuarias que descargan a las redes de alcantarillados y cuerpos receptores, también se comprobó si el dimensionamiento de cada etapa de diseño es proporcional al caudal encontrado.

En dicho estudio se realizó el reconocimiento previo del lugar, recolección de información en Enacal-Filial Masatepe y Alcaldía de Masatepe, monitoreo de medición de caudal durante 11 horas en la entrada y salida de cada etapa, por un periodo de 3 días (viernes, sábado, miércoles), se tomaron cuatro (4) muestras compuestas de aguas residuales, mismas que fueron llevadas a los laboratorios de Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados ENACAL-Central para ser analizadas.

De acuerdo al análisis y procesamiento de datos se obtuvieron los siguientes resultados, en el monitoreo de caudales se realizó un promedio de los tres días y se obtuvo un caudal máximo promedio  $220,08 \text{ m}^3/\text{día}$  ( $2.55 \text{ l/s}$ ), caudal mínimo promedio de  $40.40 \text{ m}^3/\text{día}$  ( $0.47 \text{ l/s}$ ), caudal medio promedio de  $115.29 \text{ m}^3/\text{día}$  ( $1.33 \text{ l/s}$ ), equivalente a un 25% de su caudal de diseño.

El factor de retorno resulto un valor de 0.64, en el análisis del biofiltro se obtuvo un valor de  $62.08 \text{ m}^3/\text{día}$  en el caudal de entrada y  $75.99 \text{ m}^3/\text{día}$  en el caudal de salida, el tiempo de retención se obtuvo un valor de 13 días lo cual permite hacer una buena

eficiencia de remoción de E. Coli y materia orgánica, y la carga hidráulica que se obtuvo fue de un valor de  $9 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{año}$ .

En la remoción de contaminantes de los diferentes parámetros establecidos en el decreto 33-95 y con reforma en decreto 21-2017 de MARENA, se obtuvieron los siguientes resultados emitidos por laboratorios de Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados ENACAL, Ph con valores de 7.08 a 7.33, temperatura con valores de 25,9 a 27.8, sólidos suspendidos totales con remoción de un 96%, sólidos sedimentables con un 90%, de remoción, aceites y grasas con un 90% de remoción total, nitrógeno con un 94,50 % de remoción y fósforo total con un 80% de remoción.



## ÍNDICE DE CONTENIDO

<i>CAPÍTULO I</i> .....	1
<i>GENERALIDADES</i> .....	1
1. GENERALIDADES .....	2
1.1 INTRODUCCIÓN.....	2
1.2 ANTECEDENTES.....	3
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	4
1.4 OBJETIVOS.....	6
1.4.1 Objetivo general.....	6
1.4.2 Objetivos específicos .....	6
<i>CAPÍTULO II</i> .....	7
<i>DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO Y SISTEMA EXISTENTE</i> .....	7
2. Descripción del área de estudio .....	8
2.1 Ubicación.....	8
2.1.1 Macro y Micro-localización .....	8
2.2 Caracterización del Municipio de Masatepe .....	9
2.2.1 Suelos .....	9
2.2.2 Topografía .....	9
2.2.3 Clima .....	10
2.2.4 Recursos hídricos superficiales .....	10
2.2.5 Recursos hídricos subterráneos .....	10
2.2.6 Flora y Fauna del Municipio .....	11
2.2.7 Legislación y normativas al medio ambiente del Municipio .....	11
2.2.8 Población.....	11
2.2.9 Actividad económica.....	12
2.2.10 Salud .....	12
2.2.11 Energía eléctrica.....	12
2.2.12 Telecomunicación.....	13
2.2.13. Agua potable .....	13
2.2.14 Alcantarillado sanitario .....	15
2.3 Descripción de la planta de tratamiento existente .....	15
2.3.1 Localización geográfica del sitio de estudio .....	15
2.3.2 Componente del sistema de tratamiento de aguas residuales .....	16
<i>CAPÍTULO III MARCO TEÓRICO</i> .....	19

3.	Marco Teórico.....	20
3.1	Aguas residuales .....	20
3.2	Importancia del tratamiento de las aguas residuales en poblaciones urbanas .....	20
3.3	Clasificación de las aguas residuales.....	21
3.4	Características de las aguas residuales .....	22
3.4.1	Características físicas .....	22
3.5	Planta de tratamiento de aguas residuales .....	26
3.5.1	Etapas del tratamiento de las aguas residuales .....	26
3.5.1.1	Tratamiento preliminar.....	27
3.5.1.2	Tratamiento primario .....	27
3.5.1.3	Tratamiento secundario.....	29
3.6	Dispositivos para medición de caudal de aguas residuales .....	32
3.6.1	Medición de caudales.....	32
3.6.2	Muestreo de aguas residuales .....	35
3.7	Legislación nacional relacionada con el recurso agua .....	36
3.8	Criterios para evaluar las plantas de tratamiento para aguas residuales ...	43
	<i>CAPÍTULO IV</i> .....	44
	<i>DISEÑO METODOLÓGICO</i> .....	44
4.	Diseño Metodológico .....	45
4.1	Tipo de estudio .....	45
4.2	Etaapa exploratoria y estudios de campo.....	45
4.2.1	Inspección y ubicación de puntos de muestreo .....	45
4.2.2	Recolección de información .....	46
4.3	Etaapa de levantamiento de datos .....	46
4.3.1	Medición de caudal.....	46
4.3.2	Toma de muestras de aguas residuales.....	47
4.4	Análisis y procesamiento de datos .....	49
4.4.1	Caudales de entrada y salidas a la planta.....	49
4.4.2	Consumo per cápita .....	49
4.4.3	Factor de retorno .....	49
4.5	Evaluación hidráulica de los elementos que componen la planta de tratamiento.....	50
4.5.1	Tanque Imhoff .....	50
4.5.2	Biofiltro.....	50

4.6	Eficiencias del sistema de tratamiento .....	51
<i>CAPÍTULO V .....</i>		52
<i>CÁLCULO Y RESULTADOS.....</i>		52
5.	Cálculo y Resultados.....	53
5.1	Cálculo de caudal en las etapas de la PTAR .....	53
5.1.1	Caudal en la entrada de la PTAR .....	53
5.1.2	Caudales en tanque Imhoff .....	54
5.1.2.1	Caudal en la entrada del tanque Imhoff.....	54
5.1.2.2	Caudal en la salida del tanque Imhoff.....	55
5.1.3	Caudales en biofiltro.....	56
5.1.3.1	Caudal en la entrada del biofiltro .....	56
5.1.3.2	Caudal en la salida del biofiltro.....	57
5.2	Comparación del caudal de diseño vs caudal de operación.....	58
5.3	Cálculo del consumo per cápita .....	58
5.4	Cálculo de factor de retorno .....	59
5.5	Cargas hidráulicas, de las etapas que conforman la PTAR Masatepe.....	59
5.5.1	Tanque Imhoff .....	59
5.5.2	Biofiltro .....	61
5.6	Determinación de eficiencias de remoción de contaminantes en las unidades del sistema de tratamiento.....	63
<i>CAPÍTULO VI .....</i>		70
<i>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</i>		70
6.1	Conclusiones .....	71
6.2	Recomendaciones .....	73
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....		76
<i>ANEXOS .....</i>		80
Foto 1. Obra de llegada.....		87
Foto 2. Vertedero de Demasía .....		87
Foto 3. Rejillas Tipo Manual .....		88
Foto 4. Desarenador.....		88
Foto 5. Canal Parshall “A” Entrada Gral .....		89
Foto 6. Canal de conducción .....		89
Foto 7. Canal Parshall “B” Entrada T.I.....		90
Foto 8. Tanque Imhof .....		90

Foto 9. Lecho de Secado.....	91
Foto 10. Biofiltro .....	91
Foto 11. Salida de Afluente .....	92
Foto 12. Medición de Caudales de Aguas Residuales .....	93
Foto 13. Etiquetado y Rotulado de Toma de Muestras de Aguas Residuales.....	93
Foto 14. Toma de Muestras de Aguas Residuales.....	94
Foto 15. Medición de Ph y Temperatura de Aguas Residuales.....	94
Foto 16. Vertederos Biofiltro .....	95
Foto 17. Encharcamiento Biofiltro.....	95
Foto 18. Canal de distribución Biofiltro .....	96

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Características principales de los componentes de la PTAR-Masatepe ...	18
<b>Tabla 2.</b> Tipos de sólidos y la forma como se determinan .....	23
<b>Tabla 3.</b> Características típicas de los soportes para biofiltro de flujo superficial....	31
<b>Tabla 4.</b> Valores de los parámetros en aforadores Parshall.....	34
<b>Tabla 5.</b> Límite Permisible de Coliformes Fecales .....	42
<b>Tabla 6.</b> Parámetros de calidad de vertidos decreto 21-2017 .....	42
<b>Tabla 7.</b> Resultados de cargas hidráulicas del sedimentador del tanque Imhoff.....	60
<b>Tabla 8.</b> Resultados cargas hidráulicas de cámara de digestión del tanque Imhoff	60
<b>Tabla 9.</b> Resultados del Lecho de secado .....	61
<b>Tabla 10.</b> Resultados de caudales entrada y salida de biofiltro .....	61
<b>Tabla 11.</b> Resultado del tiempo de retención de biofiltro .....	62
<b>Tabla.12.</b> Resultado de carga hidráulica de biofiltro .....	63
<b>Tabla 13.</b> Resultados de Ph y temperatura .....	63
<b>Tabla 14.</b> Resultados de Sólidos Suspendidos Totales .....	64
<b>Tabla 15.</b> Resultados de sólidos sedimentables .....	65
<b>Tabla 16.</b> Resultados de aceites y grasas totales .....	65
<b>Tabla 17.</b> Resultados de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> ) .....	66
<b>Tabla 18.</b> Resultados de Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	66
<b>Tabla 19.</b> Resultados Nitrógeno total .....	67
<b>Tabla 20.</b> Resultados de Fósforo total .....	67
<b>Tabla 21.</b> Resultados de Coliformes termo tolerantes .....	68
<b>Tabla 22.</b> Resumen de las eficiencias de remoción del tratamiento en general.....	69
<b>Tabla 23.</b> Punto Medición: Entrada General de la Planta/Promedio de 3 días de monitoreo, Canal Parshall “A”, W= 9” .....	81
<b>Tabla 24.</b> Punto Medición: Entrada Tanque Imhoff / Promedio de 3 días de monitoreo, Canal Parshall “B”, W= 6” .....	81
<b>Tabla 25.</b> Punto Medición: Salida Tanque Imhoff / Promedio de 3 días de monitoreo .....	82
<b>Tabla 26.</b> Punto Medición: Entrada Biofiltro / Promedio de 3 días de monitoreo ....	82
<b>Tabla 27.</b> Punto Medición Salida Biofiltro / Promedio de 3 días de monitoreo .....	83
<b>Tabla 28.</b> Monitoreo de Caudales por día .....	83

**Tabla 29.** Protocolo de Operación y Mantenimiento de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.....84

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Monitoreo de caudal en la entrada de la PTAR-Masatepe.....	53
Gráfico 2. Monitoreo de caudal en la entrada del tanque Imhoff .....	54
Gráfico 3. Monitoreo de caudal en la salida del tanque Imhoff .....	55
Gráfico 4. Monitoreo de caudal en la entrada de biofiltro .....	56
Gráfico 5. Monitoreo de caudal en la salida de biofiltro .....	57
Gráfico 6. Comparativo del caudal de operación vs. caudal de diseño .....	58

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Macro y Micro localización de Masatepe.....	8
Figura 2. Esquema de Planta de Tratamiento de Masatepe.....	17
Figura 3. Sección longitudinal de un biofiltro de flujo horizontal .....	30

## ÍNDICE DE FOTOS

Foto 1. Obra de Llegada.....	87
Foto 2. Vertedero de Demasía .....	87
Foto 3. Rejillas Tipo Manual .....	88
Foto 4. Desarenador.....	88
Foto 5. Canal Parshall “A” Entrada Gral .....	89
Foto 6. Canal de conducción .....	89
Foto 7. Canal Parshall “B” Entrada T.I.....	90
Foto 8. Tanque Imhof .....	90
Foto 9. Lecho de Secado.....	91
Foto 10. Biofiltro .....	91
Foto 11. Salida de Afluente .....	92
Foto 12. Medición de Caudales de Aguas Residuales .....	93
Foto 13. Etiquetado y Rotulado de Toma de Muestras de Aguas Residuales.....	93
Foto 14. Toma de Muestras de Aguas Residuales.....	94
Foto 15. Medición de Ph y Temperatura de Aguas Residuales.....	94

Foto 16. Vertederos Biofiltro .....	95
Foto 17. Encharcamiento Biofiltro.....	95
Foto 18. Canal de distribución Biofiltro .....	96



*CAPÍTULO I*  
*GENERALIDADES*

## **1. GENERALIDADES**

### **1.1 INTRODUCCIÓN**

El agua es un recurso vital para todos los seres que habitan la superficie terrestre, es de suma importancia en actividades cotidianas y es recurso fundamental para desarrollar procesos, domésticos, industriales. Luego de ser utilizada, el agua que ha sufrido diversos procesos es considerada “agua residual”, a la cual es necesario realizar un tratamiento posterior con el fin de evitar la contaminación de los cuerpos hídricos en dónde posteriormente debe ser vertida; este objetivo es logrado a través de la implementación de diversos procesos químicos, físicos y/o biológicos los cuales reducen notablemente la carga contaminante del recurso.

Es importante mencionar que la Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (ENACAL), ha hecho los mejores esfuerzos para establecer alternativas técnicas tales como la utilización de plantas de tratamiento de aguas residuales para evitar daños ambientales, y poder cumplir los parámetros establecidos en el decreto 33-95, decreto N°21-2017 de MARENA, en los artículos 24 y 25 que regula rangos y valores máximos permisibles para los vertidos de las aguas residuales provenientes de los sistemas de tratamiento del alcantarillado sanitario.

El presente trabajo se realizó con el propósito de evaluar la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) del Municipio de Masatepe, construida en el año 2001 la primera etapa, para abastecer a 4867 personas, la cual opera con unidades de pre-tratamiento constituidas por una rejilla de retención de sólidos gruesos y un desarenador de limpieza manual; seguido de un tanque Imhoff con un lecho de secado de lodos y por último un biofiltro.

Este estudio fue ejecutado entre los meses de septiembre 2018-mayo 2019, la cual incluyó medición de caudales en las diferentes etapas, por un periodo de tres (3) días con un lapso 11 horas y en diferentes días de semana, se tomaron cuatro (4)

muestras compuestas en total, (1) Entrada general de la PTAR, (1) Salida del desarenador, (1) Entrada del tanque Imhoff, (1) Salida del biofiltro, para su posterior análisis físico-químico de algunos parámetros, tales como: Sólidos Suspendidos Totales, Sólidos Suspendidos, Grasas y Aceites, Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $\text{DBO}_5$ ), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Nitrógeno Total, Fósforo Total, Coliformes Termo tolerantes, mismos que fueron remitidos a los laboratorios de Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (ENACAL) para su debido análisis.

Los resultados obtenidos mediante el análisis y procesamiento permitieron evaluar la situación actual de la planta para valorar si la misma está operando según su diseño, y proponer algunas recomendaciones para poder mejorar la eficiencia aumentar la vida útil de esta Planta.

## **1.2 ANTECEDENTES**

La tecnología del biofiltro fue introducida al país mediante la construcción de una planta piloto en la Villa Bosco Monge de la ciudad de Masaya en el año 1996, con el propósito de introducir este concepto de tratamiento de aguas residuales, hasta la fecha poco conocido, en los países de América Latina. Este proyecto de investigación fue desarrollado por la Cooperación Técnica que el Gobierno de Austria brindó a la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), en coordinación con el Instituto Nicaragüense Acueductos y Alcantarillados (INAA), en la búsqueda de alternativas de tratamiento de aguas residuales que fueran técnicamente eficientes y económicamente factibles de construir, operar y mantener, en concordancia con la situación económica del país en la época.

Durante el diseño de esta planta de tratamiento se analizaron dos alternativas de construcción: Tanque Imhoff seguido de Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente y Tanque Imhoff con Biofiltro, en ambas alternativas se contempló el uso de sistema de tratamiento preliminar (rejas y desarenadores) para garantizar la buena operación

de los sistemas de tratamiento; como resultado de esta evaluación se seleccionó Tanque Imhoff con Biofiltro ya que produce efluentes de mayor calidad lo cual hace aceptable para las instituciones y ministerios que regulan los sistemas de abastecimiento de agua potable y alcantarillado. Por otra parte, estas aguas se podrían disponer para riego agrícola o infiltración, esta última es indudablemente la opción más viable dada las características geológicas del suelo.

El sistema de tratamiento fue diseñado para tratar los aportes de aguas residuales para una población de 22,400 habitantes, y dividido en cuatro unidades. Cada unidad estaría capacitada para atender los aportes de 5,600 habitantes, correspondiendo a un caudal de 582.4 m<sup>3</sup>, misma que sería construida por etapas.

Actualmente funciona sólo la primera etapa de la planta de tratamiento de aguas residuales del Municipio de Masatepe, Departamento de Masaya, la cual fue financiado por el programa “AGUA” ENACAL-UNION EUROPEA, y entró en operación en el año 2001; diseñado para abastecer a una población 4,867 personas, con tratamiento preliminar o pre-tratamiento, tratamiento primario (tanque Imhoff-Lechos de secado) y Biofiltro.

### **1.3 JUSTIFICACIÓN**

Es de suma importancia conocer si la planta de tratamiento de aguas residuales del Municipio de Masatepe está cumpliendo conforme a las normativas de Decreto 33-95 y Decreto N°21-2017 de MARENA, el cual tiene por objetivo fijar los valores máximos permisibles o rangos de los vertidos líquidos generados por las actividades domésticas, industriales y agropecuarias que descargan a las redes de alcantarillados y cuerpos receptores, pues de lo contrario se podrían generar consecuencias negativas de tipo ambiental como contaminación del cuerpo receptor, perjudicar las especies que habitan en la zona y en especial la salud humana.

Cabe mencionar que la evaluación se realizó para identificar los posibles problemas existentes en el funcionamiento del sistema, sin obviar que este estudio permitirá que la empresa ENACAL, el cual es la encargada de su operación y mantenimiento, mejore la eficiencia de los procesos de depuración de aguas residuales y garantizar los estándares de calidad de vertidos establecidos por el decreto 33-95 y Decreto N° 21- 2017.

Dentro de los Ejes del Programa Nacional de Desarrollo Humano 2018-2021 en Nicaragua, en el artículo I sobre “Desarrollo Social, L. Agua y Saneamiento”, establece lo siguiente: a) Mejorar la calidad del agua de consumo humano, mediante la reducción de la contaminación, particularmente la que se origina por descarga de materiales y productos químicos peligrosos y aguas residuales. b) Promover la responsabilidad compartida en la construcción, uso y sostenibilidad de los sistemas de agua potable y saneamiento.

Asimismo, la **Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible**, se establecieron 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (**ODS**) los cuales pretenden ser un instrumento a nivel mundial para erradicar la pobreza y disminuir las desigualdades y vulnerabilidades, bajo el paradigma del desarrollo humano sostenible, en su Objetivo No. 6: Agua y Saneamiento: Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 Objetivo general**

Evaluar la planta de tratamiento de aguas residuales del Municipio de Masatepe, Departamento de Masaya, para determinar el cumplimiento de los parámetros de calidad de vertido haciendo uso de los decretos 33-95 y 21-2017 de MARENA.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- a) Determinar la eficiencia de la PTAR verificando parámetros establecidos en los decretos 33-95 y 21-2017 tales como: PH, Sólidos Suspendidos totales, Sólidos Sedimentables, Aceites y grasas, DBO<sub>5</sub>, DQO, Nitrógeno total, Fósforo total, Coliformes fecales.
- b) Realizar medición de caudales en la entrada y salida de cada etapa del tratamiento de la planta de aguas residuales.
- c) Determinar la eficiencia del biofiltro con respecto a la dimensión estructural según su diseño.
- d) Proponer alternativas para mejorar la eficiencia de las diferentes etapas del sistema de tratamiento, en caso que no estén operando correctamente.

*CAPÍTULO II*  
*DESCRIPCIÓN DEL ÁREA*  
*DE ESTUDIO Y SISTEMA*  
*EXISTENTE*

## 2. Descripción del área de estudio

### 2.1 Ubicación

#### 2.1.1 Macro y Micro-localización

El Municipio de Masatepe, se ubica en el suroeste del Departamento de Masaya, situado en las mesetas de los pueblos o mejor conocido como el corredor de la Meseta de los Pueblos Blancos. Se encuentra localizado a una distancia de 49 kilómetros de la Capital, Managua y a 17 kilómetros de la cabecera departamental Masaya.

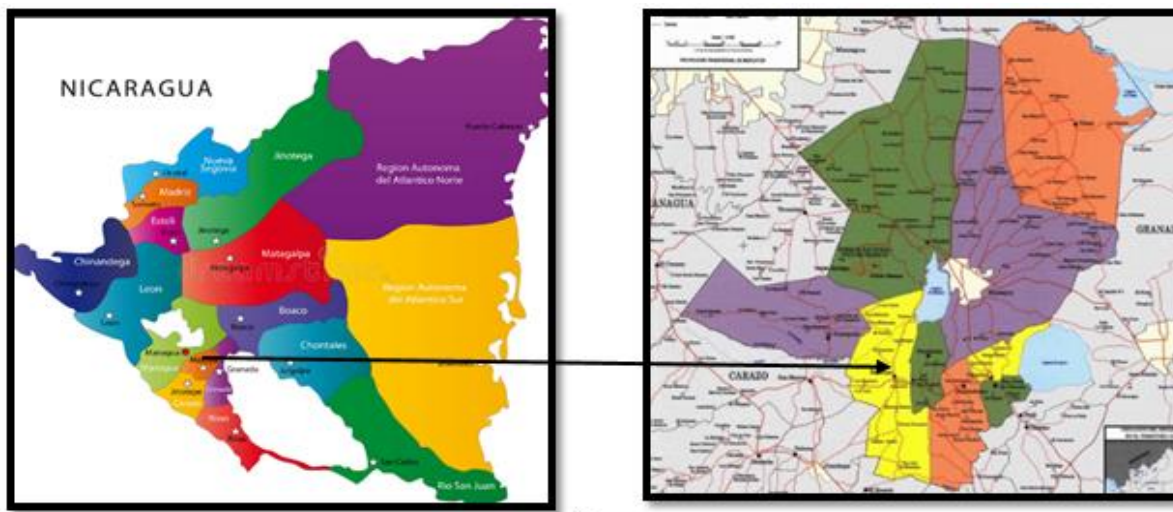


Figura 1. Macro y Micro localización de Masatepe.

**Nota:** Recuperado de [www.ineter.com.ni](http://www.ineter.com.ni)

Limita al Norte con los municipios de la Concepción y Nindirí, al Sur con el municipio de El Rosario, departamento de Carazo, al Este con la laguna de Masaya y los Municipios de Niquinohomo y Nandasmo y al Oeste con los Municipios de La Concepción, y los Municipios de San Marcos y Jinotepe del Departamento de Carazo.

El poblado se divide en los siguientes sectores: casco urbano central, Reparto Masatepe, sector Norte y los barrios Rogelio Ramírez Mercado y José Benito



Escobar. El costado Sur de la ciudad, se extiende a lo largo de la carretera asfaltada conocida como los pueblos.

## **2.2 Caracterización del Municipio de Masatepe**

### **2.2.1 Suelos**

Los tipos de suelos identificados en la zona, son los siguientes:

- Los suelos de planicies o depósitos recientes (Entisoles): Se localizan principalmente en la zona cercana a la laguna de Masaya, al Norte del municipio. El uso adecuado de estos suelos es forestal y/o vegetación natural, variedades de pastos adaptables a las condiciones y conservación de la flora y fauna, no son recomendables para cultivos agrícolas.
- Los suelos incipientes, poco evolucionados (Inceptisoles): Localizados en gran parte de Masatepe. Suelos de sedimentos minerales (Molisoles): Este tipo de suelo se localiza al Sureste. Estos suelos son aptos para cultivos como algodón, ajonjolí, maní, maíz, sorgo, arroz y caña de azúcar. En condiciones especiales son aptos para bosque de protección, conservación y explotación, así como agroforestería.

### **2.2.2 Topografía**

El Municipio de Masatepe presenta una topografía uniforme, la pendiente tiene tendencia decreciente orientada de Sur a Norte (hacia la Laguna de Masaya), con elevaciones que van desde los 300 a 500 msnm.

El borde sur de la laguna de Masaya, surcado por arroyos que generan un relieve ondulado.

Las alturas del terreno varían entre 100 y 400 msnm, con pendientes de 15% a más del 30%, no adecuadas para actividades humanas.

### **2.2.3 Clima**

El clima predominante es el de Sabana Tropical, se caracteriza por presentar una marcada estación seca de entre cuatro a cinco meses de duración, extendiéndose principalmente entre diciembre y abril.

La temperatura promedio anual del municipio oscila entre los 26 y 27 grados centígrados. En la estación lluviosa las precipitaciones pueden alcanzar máximos de 2000 mm y mínimos de 700 y 800 mm anuales.

### **2.2.4 Recursos hídricos superficiales**

El recurso más importante existente es la laguna de Masaya localizada al norte del Municipio, forma parte del Parque Nacional Volcán Masaya. La Laguna de Masaya es una sub-cuenca cerrada y su área de drenaje es de 189.60 km<sup>2</sup>. La Laguna tiene un área de 9 km<sup>2</sup>, con pendientes del 10% hasta 75%. Existen en ella arroyos que solo transportan caudales significativos inmediatamente después de llover.

Esta Laguna posee un gran significado, no solo al Municipio sino para todo el Departamento de Masaya por su alto valor paisajístico, recreativo y pesquero.

### **2.2.5 Recursos hídricos subterráneos**

Se encuentra sobre un Sistema Hidrogeológico Regional llamado Las Sierras, el cual está compuesto por un conjunto de acuíferos. Según INETER, Masatepe se encuentra sobre 2 acuíferos: N°5 Nandaime-Rivas y N°10 Meseta de Los Pueblos.

Acuífero N°5, Nandaime, Rivas: Cuenta con un área de 879 km<sup>2</sup>, comprende principalmente la parte Sur del municipio con el 38.75%. El agua subterránea en esta parte del acuífero se encuentra a mucha profundidad, lo que dificulta su extracción.

Acuífero N°10, Meseta de los Pueblos: Este acuífero tiene un área de 208.2 km<sup>2</sup>. Para los municipios de La Concepción, Masatepe y Niquinohomo este acuífero es la fuente principal de agua de las áreas con mayor concentración poblacional.

Este acuífero tiene altos índices de minerales, por lo que las aguas deben ser tratadas para el consumo humano. En la parte más baja del acuífero, el calcio ha sido totalmente desplazado, existiendo aguas apropiadas para el consumo humano con poco tratamiento.

#### **2.2.6 Flora y Fauna del Municipio**

La flora y la fauna en el Municipio de Masatepe es muy variada, a continuación, se presentan algunas características generales y particulares:

**Flora:** Es rica y variada por la presencia de diferentes especies vegetales originarias como: Acetuno, laurel, chilamate, guanacaste, guayacán, jenízaro, cedro real, pochote, guácimo, madero negro, tigüilote, malinche, roble, espino, madroño, entre otros. Además, encontramos especies frutales entre las que destacan: Mango, jocote, mamón, limón, naranja, tamarindo, mandarina y marañón. Algunas especies exóticas como: Eucalipto, neem y acacia amarilla.

**Fauna:** Se pueden visualizar; guardabarrancos, tucanes, garrobos, ardillas, zorro espín, entre otros. Las podemos apreciar en mayor número en algunos sitios en donde prevalece las áreas boscosas y alejadas de los centros poblados.

#### **2.2.7 Legislación y normativas al medio ambiente del Municipio**

Ordenanza Municipal “Reglamento de la instalación de antenas de telefonía celular” aprobada por el Concejo Municipal el 29 de junio del 2012.

Ley creadora del parque nacional Volcán Masaya, Decreto No. 79, Aprobado el 23 de mayo de 1979. Publicado en La Gaceta No. 114. El municipio se rige por las leyes y regulaciones nacionales.

#### **2.2.8 Población**

Según cálculos y proyecciones realizadas en base a los censos realizados en el año 1995 y 2005, se considera que en el municipio de Masatepe la tasa de crecimiento poblacional fue de 2.15%. Con una densidad poblacional del 658 hab/km<sup>2</sup>.

Según las proyecciones al 2017, se estima una población de 40,767 habitantes, de los cuales a nivel urbano hay una proyección de 19,984 y rural de 20,783. La tasa de fecundidad es de 3.1%, de natalidad 3.2% y la de mortalidad es de 19% por cada 10 mil habitantes.

### **2.2.9 Actividad económica**

Entre las principales actividades económicas del Municipio, se destacan el comercio de muebles que se producen de las manos laboriosas de artesanos que fabrican juegos de muebles en mimbre y ratán. Además, sobresale la gastronomía del municipio, los restaurantes de venta de Sopa de mondongo, tamugas, nacatamales y dulces o cajetas.

### **2.2.10 Salud**

El sector salud es atendido por el Ministerio de Salud (MINSA), se cuenta con un centro de salud municipal ubicado en la zona urbana y cuatro (4) puestos de salud ubicados en el área rural: San José, Los Rincones, La Colonia, El Arenal. Los principales indicadores son enfermedades como: Dengue, chikungunya y zica las cuales son controladas y no se han convertido en epidemias. Las principales atenciones brindadas son las Infecciones Respiratorias Agudas (IRA), las Infecciones en las Vías Urinarias (IVU), los crónicos que son las personas con enfermedades como la diabetes, hipertensas, asmáticas, con insuficiencia renales crónicas, epilépticos, enfermedades pulmonares y bronquitis.

### **2.2.11 Energía eléctrica**

Inicio su funcionamiento desde el año de 1992 con un Transformador de Potencia de capacidad de 15 MW y debido al crecimiento de la demanda de energía fue cambiado el transformador de Potencia pasando de 15 MW a 25 MW. Actualmente de esta Sub-Estación salen 4 circuitos de distribución de 13.2 KV de línea de media tensión y hay proyecciones para los próximos años de sacar un quinto circuito para abastecer el crecimiento proyectado de la demanda.

La cobertura del servicio domiciliario de energía eléctrica en el casco urbano es de un 90% de los barrios y en la parte rural en unos 80% de las comunidades. En el caso de la cobertura del alumbrado público en casco urbano es aproximadamente un 80% de los barrios y en el área rural la cobertura disminuye a un 30 % de las comunidades. La existencia de la Sub Estación Eléctrica en el municipio permite brindar una calidad de servicio y que se pueda vender energía para desarrollos urbanísticos, así como industriales.

#### **2.2.12 Telecomunicación**

Se cuenta con los servicios de telefonía y correos, cuya administración está a cargo de la Empresa Nicaragüense de Telecomunicaciones (ENITEL), esta empresa presta sus servicios de telefonía mediante una planta semiautomática. El servicio de telefonía convencional solo se brinda en el casco urbano. También se cuenta con el acceso a la telefonía celular de las redes de CLARO y MOVISTAR, estas empresas poseen antenas de telefonía celular en el Municipio y sus alrededores. En comunidades alejadas como: Campos Azules, El Guarumo, Sectores de La Sabanita entre otras, la cobertura de estas redes es deficiente.

Dada la necesidad de instalación de más antenas para una mejor cobertura de este medio de comunicación la municipalidad en aras de reducir el impacto en el paisaje urbano como natural y la posible repercusión en la calidad de vida de los ciudadanos, estableció criterios generales para el ordenamiento de estas instalaciones mediante Ordenanza Municipal denominada “Reglamento de la instalación de antenas de telefonía celular” aprobada por el Concejo Municipal el 29 de junio del 2012.

#### **2.2.13. Agua potable**

El servicio de agua potable es administrado por la Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (ENACAL) quien tiene presencia en el Municipio mediante oficinas en el casco urbano.

ENACAL cuenta con cinco (5) pozos, de los cuales solo se encuentran activos 4 actualmente, tres (3) pozos ubicados en la zona rural en las comunidades de San José y El Tanque, denominado 1A, El Tanque y San José, 1 pozo ubicado en la zona urbana del municipio de Masatepe en el Barrio Carlos Fonseca denominado Mondongo, los cuales bombean 24 horas por día, debido a la poca producción de agua, se utiliza sistema (pozo-tanque-red).

Los pozos denominados 1A y Tanque tienen una producción de 260 y 270 galones por minuto (gpm), los cuales llenan 2 tanques con capacidad de 500,000 y 5000 galones, abastecen por gravedad a toda la ciudad de Masatepe y parte de sus comunidades como el Arenal 1, los Velázquez 1,2 e Higuerón.

El Pozo San José, tiene una producción de 150 galones por minuto (gpm) cuenta con un sistema de distribución de agua potable por gravedad y por bombeo. El agua extraída del pozo abastece por gravedad a los habitantes de San José, El Corozo, San Isidro, La Mazamorra. Con el sistema por bombeo se abastece a las comunidades de: Los Ángeles, Campos Azules, Mirazul del Llano, El Crucero, Santa Emilia y Santo Domingo.

El Pozo “El Mondongo”, tiene una producción de 300 gpm se localiza en calle de acceso al Reparto Venecia, frente al restaurante El Mondongazo. Con este pozo se abastece por bombeo a la zona Oeste del municipio a las comunidades de Mirazul del Llano, Villa Hábitat, Macario Brenes, Jardín Botánico, Las Marías y Los Amplié.

El Pozo 3B, localizado en la comunidad de los Velásquez se encuentra inactivo, a este le falta el motor y la bomba. Este pozo abastecía la zona Norte del municipio.

ENACAL contabiliza un total de 5,972 conexiones de agua potable activas a nivel municipal.

El Pozo “La Sabanita”, realizado por alcaldía municipal con fondos provenientes de préstamo del BID y fondos de las transferencias municipales, ejecutado con el

proyecto de construcción de sistema de agua potable en zona norte de Masatepe, iniciando operaciones en el año 2010, bajo la administración del Comité de Agua Potable y Saneamiento (CAPS) de la comunidad de la Sabanita.

Este cuenta con un tanque de almacenamiento metálico con capacidad de 20,000 galones, estación de bombeo con capacidad de 567.75 lps, motor con potencia de 30 HP y bomba dosificadora de cloro. Abastece de agua potable a la comunidad del mismo nombre, un sector de la comunidad del Pochote, Arenal No. 1 y Arenal No.2. Se bombea de 9 -13 horas diarias abasteciendo 2 días a la semana a cada comunidad conectada a esta red. El sistema cuenta con un total de 406 conexiones domiciliarias.

#### **2.2.14 Alcantarillado sanitario**

El Municipio de Masatepe cuenta con el servicio público de alcantarillado sanitario cuya administración está a cargo de ENACAL, con una red de 2789.87 ml de tubería PVC SDR-41 de 15, 8 y 6 pulgadas de diámetro, 26 PVS, el cual se benefician aproximadamente 1140 personas, dicho sistema cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales, ubicada al noroeste del casco urbano en la comunidad de Los Chirinos.

El Reparto VENECIA cuenta con dos (2) tanques sépticos que recolectan las aguas grises de las viviendas del reparto. Las nuevas viviendas de residencial Altos de Masatepe hacen uso de sistema de tratamiento de las aguas grises.

El resto de la población utiliza como sistema de eliminación de excretas los sumideros.

### **2.3 Descripción de la planta de tratamiento existente**

#### **2.3.1 Localización geográfica del sitio de estudio**

La planta de tratamiento de aguas residuales, ubicada en el Municipio de Masatepe, Departamento de Masaya, ocupa un área de 4.69 hectáreas, ubicada al noroeste del

casco urbano en la comunidad de Los Chirinos, a una distancia aproximada de 1.5 kilómetros del centro y a unos 4 kilómetros de la Laguna de Masaya. Las coordenadas geográficas corresponden a 86°09'00" longitud Oeste y 11°55'20" latitud Norte. Este predio limita al Este, con la Sra. Julia López y el Sr. Eliseo Carmona, al Norte con el Sr. José Antonio Puerta y el Sr. Alfonso Gutiérrez, al Oeste con el Sr. Ronald Cerda y al Sur con el Sr. Jorge Pong. Las aguas residuales recolectadas en el alcantarillado sanitario del casco urbano son drenadas por gravedad hasta la PTAR.

### **2.3.2 Componente del sistema de tratamiento de aguas residuales**

El sistema de tratamiento aguas residuales con capacidad de procesar 460 m<sup>3</sup> de aguas servidas por día, está diseñado por: un tratamiento preliminar o pre tratamiento (Reja y desarenador), tratamiento primario (Tanque Imhoff y Lechos de secado de lodos), tratamiento secundario (Biofiltro), todo esto con el objetivo de mejorar la calidad del agua residual que ingresa al STAR, proveniente del alcantarillado sanitario del municipio para luego poder ser vertido al cuerpo receptor. (Ver Figura No.2 y Tabla 1)



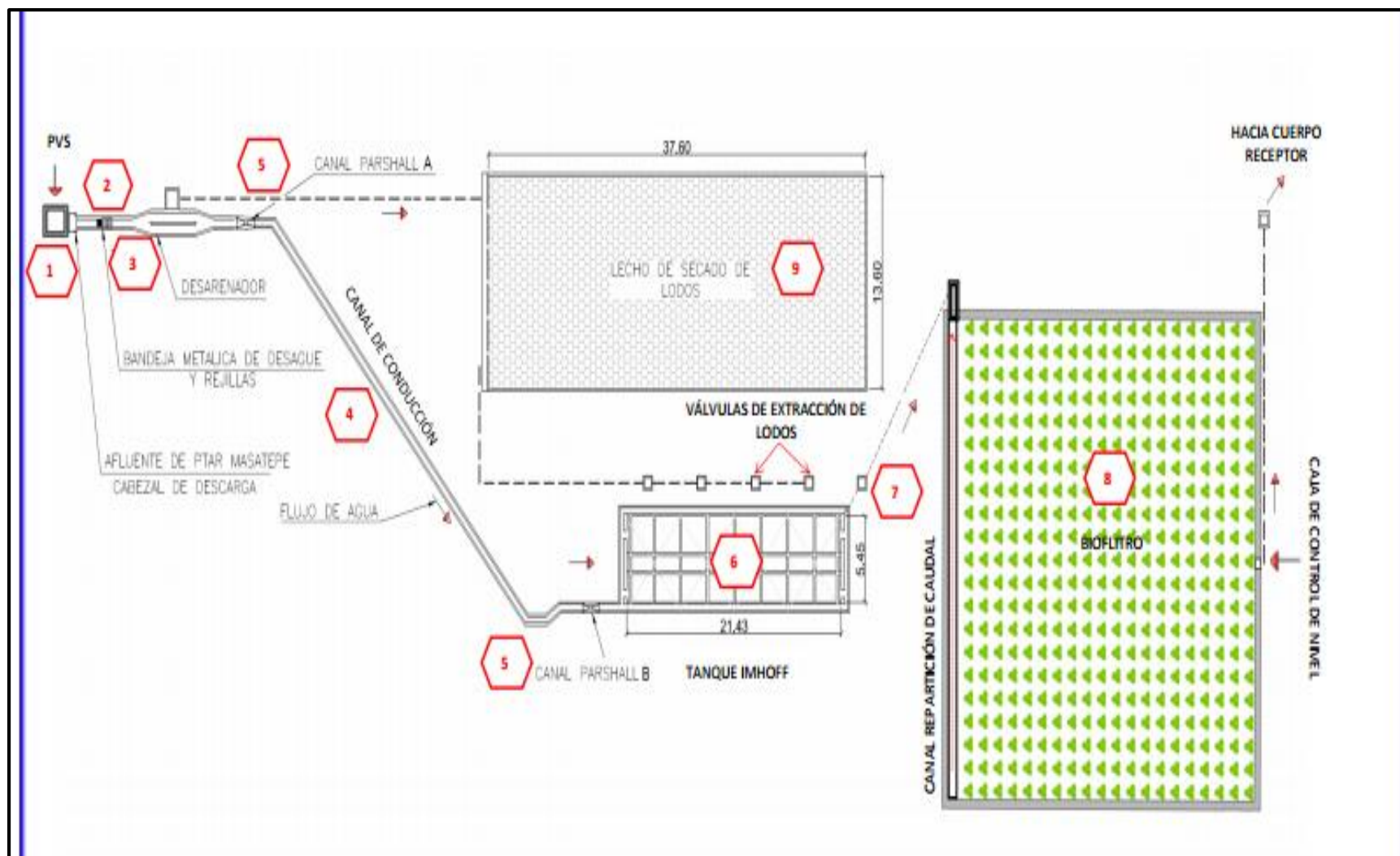


Figura 2. Esquema de Planta de Tratamiento de Masatepe

Nota: Información tomada de datos suministrados por ENACAL

**Tabla 1. Características principales de los componentes de la PTAR-Masatepe**

UNIDADES		CARACTERISTICAS
Tratamiento preliminar	Obra de llegada	Compuesto por un pozo de visita, el cual permite la extracción de sólidos grandes y desechos arrastrados dentro de la colectora para evitar que entren al sistema. Ver foto No. 1 - Anexos
	Vertedero de demasía	Tubería PVC de 10" de 130 mts de longitud, sirve para descarga exceso de aguas pluviales y para proteger el tanque Imhoff de sobrecargas hidráulicas, la cual desagua en cauce natural. Ver foto. 2 - Anexos
	Rejilla manual, tipo removible	De varillas lisa de acero $\frac{3}{8}$ " con ángulo de inclinación de 45°, separación de 3.0 cm, con bandeja de desagüe de 1.0 m x 0.5 m, con orificios de $\frac{1}{2}$ " a cada 10 cm. Ver foto No. 3 - Anexos
	Desarenador	Compuesto por dos canales paralelos de concreto, con dimensiones: Ancho efectivo = 1.65 m; Longitud efectiva = 8.10 m. Ancho de cada canal = 0.60 m, el cual permite remover materiales de 0.02 mm de diámetro, en un costado a los canales tiene una caja de inspección para descarga de sedimentos que tiene dos válvulas cerradas, una para cada canal. De esta caja de inspección los sedimentos se direccionan con una tubería de PVC de 6 pulg., directamente al lecho de secado. Ver foto No. 4 - Anexos
	Canal Parshall "A"	Unidad de fibra de vidrio, con ancho de garganta W = 9" ubicado en la entrada general de la PTAR. Ver foto No. 5 - Anexos
	Canal de conducción	De concreto y dimensiones : Ancho = 0.40 m; Alto = 0.45 m y Longitud = 56.60 m, el cual descarga aguas residuales desde canal parshall de W=9" hasta canal parshall de W=6" ubicado entrada Tanque Imhoff. Ver foto No. 6 - Anexos
Tratamiento primario	Canal Parshall "B"	Unidad de fibra de vidrio, con ancho de garganta W = 6", la entrada del Tanque Imhoff, mismo que fue construido para futuras ampliaciones. Ver foto No. 7 - Anexos
	Tanque Imhoff	Una unidad de concreto reforzado: El tanque mide, largo = 21.40 m, ancho = 6.0 m y profundidad = 5.26 m. El área ocupada = 128.40 m <sup>2</sup> . El efluente pasa con flujo horizontal por las cámaras de sedimentación, son dos unidades paralelas dispuestas a todo lo largo del tanque. Los sedimentadores tienen paredes inclinadas formando un canal triangular con abertura abajo, para cual los sólidos sedimentables, o lodos bajan por gravedad hacia la cámara de digestión de lodos. Ver foto No. 8 - Anexos
	Lecho de secado de lodos	Con dimensión: Ancho = 13.90, Longitud = 37.60 m y altura media = 0.40 m, piso de adoquín y paredes de mampostería, la cual recibe el lodo del desarenador por medio de tubería y lodo del tanque Imhoff. Ver foto No. 9 - Anexos
Tratamiento secundario	Biofiltro	Una unidad con fondo y taludes impermeabilizados con suelo cemento: Ancho = 50.00 m; Largo = 50.00 m y profundidad = 0.70 m. El lecho filtrante de estas unidades están rellenos en las secciones de entrada y salida con piedra volcánica llamada hormigón rojo de 2" a 4" de diámetro. Las aguas son recolectadas al final del sistema de tratamiento por medio de una tubería perforada de PVC de 8" de diámetro y conducidas hacia la caja de recolección. Ver foto No. 10 - Anexos
Descarga de afluente	Cauce natural	Esta descarga en un cauce natural, dentro la propiedad de la PTAR. Ver foto No. 11 - Anexos

**Nota:** Basado en Manual de Operación y Mantenimiento de la PTAR Masatepe.

*CAPÍTULO III*  
*MARCO TEÓRICO*

### **3. Marco Teórico**

#### **3.1 Aguas residuales**

Son aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y que por su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado. (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental – OEFA, 2014)

#### **3.2 Importancia del tratamiento de las aguas residuales en poblaciones urbanas**

En muchas ocasiones los vertidos de aguas residuales superan la capacidad de disolución y depuración de los cauces y medios receptores, lo que conlleva a un deterioro progresivo de la calidad de los mismos, e imposibilita la reutilización posterior del agua. Independientemente del origen y características de las aguas residuales urbanas, estas han de ser tratadas adecuadamente antes de su vertido o reutilización con el fin de: Proteger el estado ecológico de los medios receptores (embalses, ríos, barrancos, acuíferos, mar, entre otros). Evitar riesgos para la salud pública de la población. Producir efluentes con características físicas, químicas y microbiológicas aptas para la reutilización.

Hoy en día, las estaciones de tratamiento de aguas residuales son un complemento artificial imprescindible de los ecosistemas acuáticos, aunque también es cierto que el grado de tratamiento de un agua residual dependerá en gran medida del conocimiento que se tenga del medio receptor ya que esto podrá determinar la carga contaminante que puede admitir el medio receptor sin llegar a producir un desequilibrio irreversible o importante en el mismo.

La contaminación del agua es uno de los más graves problemas ambientales a los que la naturaleza se enfrenta actualmente, cada día se vierte a los ríos y lagos toneladas de desechos en forma de basura o como agua residual ocasionando la

contaminación de los cuerpos de agua que en algún momento fueron de agua cristalina natural, la contaminación causada por los efluentes domésticos e industriales, la deforestación y los cambios del uso de suelo, están reduciendo la disponibilidad de agua utilizable para el país. El vertido de las aguas residuales crudas a los cuerpos de agua contribuye de forma importante a la contaminación ambiental del país, así como el bienestar de su población.

Las aguas residuales producto de actividades domésticas a menudo contienen heces, orina y residuos de lavandería como principales contaminantes, es por ello que no es difícil establecer la relación entre este tipo de contaminación y la salud humana y ambiental.

Es importante adoptar medidas para reducir la contaminación que a diario se vierte en los cuerpos de agua, así como también para reducir el consumo de agua en las actividades que diariamente se realizan, haciendo cambios en el uso de sustancias tóxicas y no biodegradables siendo estas más amigables con el medio ambiente. El efluente de aguas residuales que cada generador descarga debe ser tratado con el objeto de mejorar su calidad, especialmente si sus descargas son cercanas a poblaciones urbanas. (Báez, R; Martínez, R., 2015)

### **3.3 Clasificación de las aguas residuales**

Las aguas residuales, se pueden generar de diversas formas, ya sea de origen doméstico, industrial, pecuario, agrícola, recreativo, entre otras, dependiendo la forma como se originan se determinan que características pueden tener dichas aguas. Las aguas residuales se clasifican de la siguiente forma<sup>1</sup>:

---

<sup>1</sup> Aguas residuales: Clasificación y características.

### **Agua Residual Doméstica (ARD)**

Caracterizadas por ser residuos líquidos de viviendas, zonas residenciales, establecimientos comerciales o institucionales.

### **Agua Residual Municipal o Urbana**

Estas aguas se caracterizan por ser los residuos de un conjunto urbano; de lo cual tiene actividades residenciales, recreativas e industriales, transportadas por una red de alcantarillado.

### **Agua Residual Industrial (ARI)**

Estas aguas se caracterizan por proceder de cualquier actividad industrial en cuyo proceso de producción, transformación o manipulación se emplee el uso de agua, como medio de transporte, lavado, refrigeración directa, etc. Entre los contaminantes más importantes del agua se encuentran microbios patógenos, metales pesados y materia orgánica persistente, así como sedimentos en suspensión y pesticidas, los cuales, en su mayoría, provienen de fuentes no localizadas.

## **3.4 Características de las aguas residuales**

El conocimiento de las características de las aguas es de suma importancia principalmente para ayudar a determinar el impacto en las fuentes receptoras y para valorar un mejor tratamiento; que permita que los parámetros de la calidad del agua sean los más adecuados para su vertimiento. (Gallegos, 2012)

### **3.4.1 Características físicas**

**Temperatura:** La determinación de temperatura es un parámetro importante en el tratamiento de aguas residuales, porque es el factor que determina el desarrollo de

la actividad bacteriana, influyendo en el metabolismo, productividad, respiración y descomposición de la materia orgánica. (Duchicela y Toledo, 2014)

**Color:** El agua residual reciente suele ser gris, sin embargo, los compuestos orgánicos son descompuestos por las bacterias, el oxígeno disuelto en el agua residual se reduce a cero y el color cambia a negro. (Mercado, 2011)

**Olor:** Normalmente son debidos a la liberación de gases en el proceso de descomposición de la materia orgánica, en las aguas residuales.<sup>2</sup>

**Turbiedad:** La turbiedad, como una medida de las propiedades de dispersión de la luz de las aguas, es otro parámetro usado para indicar la calidad de las aguas naturales y las aguas residuales tratadas con relación al material en suspensión coloidal. (Zúñiga y Solórzano, 2016)

**Sólidos Totales (ST):** Las aguas residuales contienen materiales sólidos por lo que se torna importante analizarlos, ya que al hablar de sólidos totales se engloba a los sólidos disueltos y sólidos sedimentables, si no se analiza pueden existir problemas en el desarrollo del tratamiento. En la siguiente tabla se muestran los tipos de sólidos y la forma para determinarlos (Delgadillo, Camacho, Pérez y Andrade, 2010):

**Tabla 2.** Tipos de sólidos y la forma como se determinan

Sólidos	Determinación
Sólidos Totales	Se secan 103 – 105 °C. La determinación de sólidos totales permite estimar la cantidad de materia disuelta y en suspensión que lleva una muestra de agua.
Sólidos sedimentables	El análisis de sólidos sedimentables presentes en una muestra de agua indica la cantidad de sólidos

---

<sup>2</sup> [https://es.wikipedia.org/wiki/Planta\\_de\\_tratamiento\\_de\\_liquidos\\_cloacales#Características\\_físicas](https://es.wikipedia.org/wiki/Planta_de_tratamiento_de_liquidos_cloacales#Características_físicas)

	que pueden sedimentarse a partir de un volumen dado de muestra en un tiempo determinado.
Sólidos en suspensión	Los sólidos en suspensión se determinan por la diferencia de peso de un filtrado por el cual se hace pasar la muestra.

**Nota:** Recuperado de: <https://quimiambientalutp.files.wordpress.com/2012/05/determinacion-de-solidos.pdf>

### 3.4.2 Características químicas

Dentro de estos se pueden distinguir: Orgánicos (materia orgánica), inorgánicos (pH, nitrógeno, fósforo, elementos tóxicos, entre otros) y gaseosos (metano, sulfuro de hidrógeno, anhídrido carbónico, entre otros).

**Materia orgánica:** Constituye una tercera parte de los elementos de las aguas residuales. Son sólidos que provienen de los reinos animal y vegetal, así como de las actividades humanas relacionadas con la síntesis de compuestos orgánicos. Los principales grupos de sustancias orgánicas presentes en el agua residual son<sup>3</sup>:

- a. *Proteínas:* Constituyen del 40 al 60 % de la materia orgánica proporcionando mayor parte de nutrientes utilizados por las bacterias.
- b. *Grasas y aceites:* Son los compuestos orgánicos más estables y no se descomponen fácilmente por las bacterias.
- c. *Agentes tensos activos:* Ligeramente solubles en agua causan espumas en las plantas de tratamientos, así como en las aguas a las que se vierten efluentes de agua residuales (detergentes).
- d. *Pesticidas y productos químicos:* Se encuentra a nivel de trazas tales como pesticidas, herbicidas y otros productos químicos usados en la agricultura.

---

<sup>3</sup> [http://aulavirtual.usal.es/aulavirtual/Demos/Simulacion/modulos/Curso/uni\\_03/U3C3S5.htm](http://aulavirtual.usal.es/aulavirtual/Demos/Simulacion/modulos/Curso/uni_03/U3C3S5.htm)



Existen diferentes ensayos para la determinación del contenido orgánico de las aguas residuales: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Carbono Orgánico Total (COT), Demanda Total de Oxígeno (DTO) y Demanda Teórica de Oxígeno (DTeO).

*Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO):* Es la cantidad de oxígeno que los microorganismos, especialmente bacterias (aeróbicas o anaeróbicas), hongos y plancton, consumen durante la degradación de las sustancias orgánicas contenidas en la muestra. Se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en  $\text{mgO}_2/\text{l}$ .

*Demanda Química de Oxígeno (DQO):* Es la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar la materia orgánica por medios químicos y convertirla en  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ . Se expresa también en  $\text{mgO}_2/\text{l}$ . (Nihon, 2017)

### **Compuestos inorgánicos**

*a. Potencial de Hidrógeno (pH):* Es una medida de la acidez o alcalinidad que describe la actividad de los iones en una solución acuosa.<sup>4</sup>

*b. Nitrógeno total:* Es la cantidad total de nitrógeno en el agua, indica su capacidad de ser nitrificado a nitritos y nitratos, o en su caso, desnitrificado a nitrógeno gaseoso. Los datos del nitrógeno son necesarios para evaluar la tratabilidad de las aguas residuales por tratamientos biológicos; un agua residual insuficiente de nitrógeno puede requerir la adición de nitrógeno para su adecuada descomposición.

*c. Fósforo total:* El fósforo es esencial para el crecimiento de los organismos y puede ser un nutrimento limitante de la productividad primaria. En concentraciones elevadas por la incorporación de aguas residuales o tratadas, estimula el crecimiento acelerado de macro y microorganismos, provocando eutrofización.

---

<sup>4</sup> <https://www.significados.com/ph/>

*d. Oxígeno disuelto:* Es la cantidad de oxígeno que está disuelto en el agua y que es esencial para los riachuelos y lagos saludables. El nivel de oxígeno disuelto puede ser un indicador de cuán contaminada está el agua y cuán bien puede dar soporte esta agua a la vida vegetal y animal.

### **Características biológicas**

*a. Coliformes termo tolerantes:* El tratamiento de aguas residuales tiene como misión la eliminación de este tipo de agentes patógenos para su aprovechamiento posterior en este caso se enfoca a reutilizarla como agua de riego (Lara, 1999).

*b. Bacterias:* Son de gran importancia en los procesos de descomposición y estabilización de la materia orgánica.

*c. Algas:* Son responsables de la estabilización de la materia orgánica presente en las aguas residuales, utilizándola como fuente de carbono.

*d. Protozoos:* Son microorganismos que pueden eliminar las bacterias suspendidas en el agua, evitando la producción de efluentes con turbidez.

*e. Hongos:* Junto con las bacterias, los hongos son los principales responsables de la descomposición del carbono en la biosfera.

## **3.5 Planta de tratamiento de aguas residuales**

Consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar todos los contaminantes en el agua efluente del uso humano. El objetivo del tratamiento es producir agua limpia (o efluente tratado) o reutilizable en el ambiente y un residuo sólido o fango convenientes para su disposición o reúso. (Rodríguez, 2011).

### **3.5.1 Etapas del tratamiento de las aguas residuales**

El proceso de tratamiento de agua residual se puede dividir en cuatro etapas:

### **3.5.1.1 Tratamiento preliminar**

Son las medidas que se utilizan para preparar las aguas residuales para el inicio del tratamiento, con ellas se logra la remoción de sólidos y arenas para proteger las bombas y otros equipos que forman parte del sistema de tratamiento, así como mejorar el aspecto estético de las aguas. (Valencia, 2013)

En esta etapa del tratamiento se pueden utilizar los siguientes accesorios o equipos:

*Rejillas:* Separación de barras  $d=1$  a 2 cm, con una inclinación de las barras de un ángulo con la horizontal de  $70^\circ$ .

*Desarenadores:* Son tanques de flujo continuo utilizados para separar arenas, y otros sólidos discretos de densidad superior a la del líquido cloacal, que por su naturaleza interfieren en la operación y mantenimiento de las unidades que siguen en el tratamiento, evitan la paralización del sistema por fallas en las bombas.

### **3.5.1.2 Tratamiento primario**

Tiene como finalidad de remover los sólidos suspendidos y pueden ser mediante: Filtración, precipitación, sedimentación y flotación. (Valencia, 2013)

#### **Tanque Imhoff**

Es una unidad de tratamiento primario cuya finalidad es la remoción de sólidos suspendidos. Para comunidades de 5000 habitantes o menos, los tanques Imhoff ofrecen ventajas para el tratamiento de aguas residuales domésticas, ya que integran la sedimentación del agua y la digestión de los lodos sedimentados en la misma unidad, por ese motivo también se les llama tanques de doble cámara. El tanque imhoff típico es de forma rectangular y se divide en tres compartimentos<sup>5</sup>:

---

<sup>5</sup> Guía para el diseño de tanques sépticos, tanques Imhoff y lagunas de estabilización

- Cámara de sedimentación.
- Cámara de digestión de lodos.
- Área de ventilación y acumulación de natas.

Durante la operación, las aguas residuales fluyen a través de la cámara de sedimentación, donde se remueven gran parte de los sólidos sedimentables, estos resbalan por las paredes inclinadas del fondo de la cámara de sedimentación pasando a la cámara de digestión a través de la ranura con traslape existente en el fondo del sedimentador. El traslape tiene la función de impedir que los gases o partículas suspendidas de sólidos, producto de la digestión, interfieran en el proceso de la sedimentación. Los gases y partículas ascendentes, que inevitablemente se producen en el proceso de digestión, son desviados hacia la cámara de natas o área de ventilación. Los lodos acumulados en el digestor se extraen periódicamente y se conducen a lechos de secado, en donde el contenido de humedad se reduce por infiltración, después de lo cual se retiran y dispone de ellos enterrándolos o pueden ser utilizados para mejoramiento de los suelos.

### Ventajas

- ✓ Las aguas servidas que se introducen en los tanques Imhoff, no necesitan tratamiento preliminar, salvo el paso por una criba gruesa y la separación de las arenillas.
- ✓ Tiene un bajo costo de construcción y operación.
- ✓ Para su construcción se necesita poco terreno en comparación con las lagunas de estabilización.
- ✓ Son adecuados para ciudades pequeñas y para comunidades donde no se necesite una atención constante y cuidadosa, y el efluente satisfaga ciertos requisitos para evitar la contaminación de las corrientes.

### Desventajas

- ✓ Son estructuras profundas (>6m).
- ✓ Es difícil su construcción en arena fluida o en roca y deben tomarse precauciones cuando el nivel freático sea alto, para evitar que el tanque pueda flotar o ser desplazado cuando esté vacío.
- ✓ El efluente que sale del tanque es de mala calidad orgánica y microbiológica.
- ✓ En ocasiones puede causar malos olores, aun cuando su funcionamiento sea correcto.

Conocidas las ventajas y desventajas del tanque Imhoff, quedará a criterio del ingeniero encargado del proyecto si es conveniente emplear esta unidad, en la localidad donde se desea tratar las aguas residuales de uso doméstico. Cabe resaltar que esta alternativa resulta adecuada en caso no se cuente con grandes áreas de terreno para poder construir un sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas, como es el caso de las lagunas de estabilización, además de que el tanque Imhoff deberá estar instalado alejado de la población, debido a que produce malos olores. El tanque Imhoff elimina del 40 al 50% de sólidos suspendidos y reduce la DBO de 25 a 35%. Los lodos acumulados en el digestor del tanque Imhoff se extraen periódicamente y se conducen a lechos de secados. Debido a esta baja remoción de la DBO y Coliformes, lo que se recomendaría es enviar el efluente hacia una laguna facultativa para que haya una buena remoción de microorganismos en el efluente.

#### **3.5.1.3 Tratamiento secundario**

Es el tratamiento donde se transforma la materia orgánica biodegradable por la acción biológica en materia estable. Está principalmente diseñado a la eliminación de los sólidos en suspensión y de los compuestos orgánicos, en algunos casos se incluye desinfección en esta etapa.

Entre los tratamientos secundarios podemos citar:

- Lodos activados, zanjas de oxidación, filtros biológicos, lagunas de estabilización, filtros intermitentes de arena, lechos de secado, discos rotativos o biodiscos entre otros.
- Lechos de secados de lodos: Son generalmente el método más simple y económico de deshidratar los lodos estabilizados (lodos digeridos), lo cual resulta ideal para pequeñas comunidades.

## Biofiltro

Los Biofiltro son humedales artificiales de flujo subterráneo, diseñados para maximizar la remoción de los contaminantes que se encuentran en las aguas residuales. Los Biofiltros son pilas de poca profundidad rellenas con un material que sirve como lecho filtrante, en cuya superficie se siembran plantas de pantano, y en las que las aguas residuales pretratadas fluyen en sentido horizontal o vertical.<sup>6</sup>

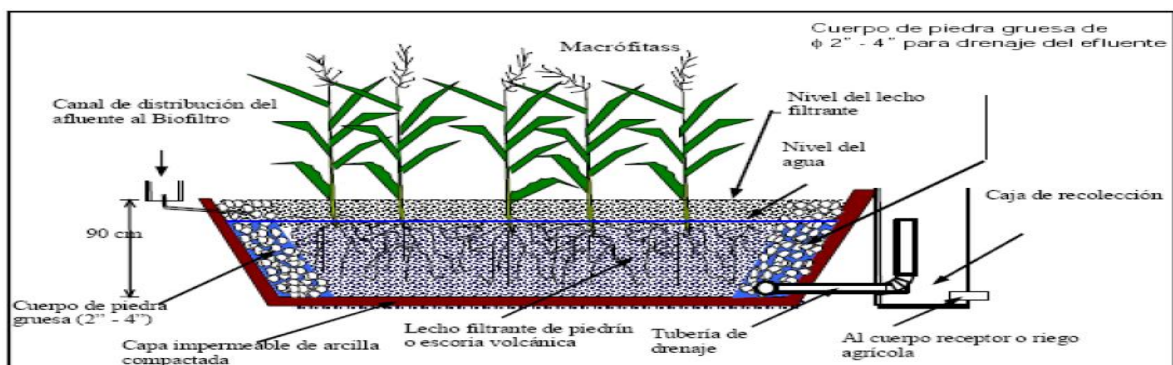


Figura 3. Sección longitudinal de un biofiltro de flujo horizontal

Nota: CIEMA –UNI, Biofiltro Masaya, 1996.

## Componentes principales del Biofiltro

**Lecho filtrante:** El material de relleno juega un rol importante en la eficiencia del tratamiento y tiene que cumplir con diferentes exigencias, tales como: Alta superficie

<sup>6</sup> Biofiltro: Una opción sostenible para el tratamiento de aguas residuales en pequeñas localidades, 2006.

de contacto para las bacterias, capacidad adecuada de filtración, así como alta resistencia física y química contra el desgaste provocado por las aguas residuales.

**Tabla 3.** Características típicas de los soportes para biofiltro de flujo superficial

<b>Tipo de material</b>	<b>Tamaño efectivo (mm)</b>	<b>Porosidad (%)</b>	<b>Conductividad hidráulica, <math>k_s</math> (<math>m^3 m^2/d</math>)</b>
Arena Gruesa	2	28-32	100-1000
Arena Gravosa	8	30-35	500-5000
Grava Fina	16	35-58	1000-10000
Grava Media	32	36-40	10000-50000
Grava Gruesa	128	38-45	50000-250000

Nota: Recuperado de Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010.

*Plantas macrófitas:* Las plantas establecen una relación simbiótica con los microorganismos, fijando las partículas y absorbiendo los nutrientes como fósforo y nitrógeno que se encuentra en el agua residual por la presencia de detergentes y materia orgánica, que lo convierten en alimento para su crecimiento.

### **Diseño de biofiltro**

La utilización de biofiltro para el tratamiento de aguas residuales requiere del uso de etapas previas de tratamiento que garanticen principalmente una efectiva remoción de los sólidos suspendidos, con el fin de evitar la obstrucción del lecho filtrante. En la práctica, se ha comprobado que el biofiltro funciona bien con aguas pre tratadas por medio de una rejilla, desarenador y unidades de sedimentación (p.e., tanques Imhoff, tanques sépticos).

Existen dos parámetros principales para el diseño de biofiltro los cuales son: Carga orgánica y carga hidráulica<sup>7</sup>.

<sup>7</sup> Investigaciones y experiencias con biofiltros en Nicaragua y Centroamérica, 2004.

*Carga orgánica:* Representa el flujo másico de materia por unidad de volumen de filtro. Es proporcional a la relación alimento-microorganismos, por lo que también sirve como referencia para determinar la rapidez del crecimiento de la población de bacteria del sistema.

*Carga hidráulica:* Equivale a la velocidad superficial que tiene el agua residual con la recirculación al pasar por el área plana del corte transversal del volumen que atraviese. (Gutiérrez, 2010)

### **3.6 Dispositivos para medición de caudal de aguas residuales**

**Caudal:** Es el volumen de agua residual por unidad de tiempo, este es un parámetro sumamente importante en el tratamiento de aguas residuales, debido a que sin su cuantificación los diseños de plantas de tratamiento tendrán inconvenientes en su funcionamiento.

#### **3.6.1 Medición de caudales**

Se realiza con el fin de determinar la carga hidráulica que le está llegando a la PTAR, para comprobar si los dispositivos que la conforman están operando con un caudal correspondiente a su diseño, estos deben de relacionarse con la población que aporta para determinar la contribución de agua per cápita, dichas mediciones se pueden realizar por diferentes métodos:

Canaletas Parshall, vertederos y métodos volumétricos para canales abiertos.

*Canal Parshall:* También llamado “Medidor Parshall”, es una estructura hidráulica que permite medir la cantidad de agua que pasa por una sección de un canal determinado. (Lux, 2010)

La canaleta Parshall es un elemento primario con una amplia gama de aplicaciones para medir el caudal en canales abiertos. Puede ser usado para medir el flujo en ríos,



canales de irrigación y/o de desagüe, salidas de alcantarillas, aguas residuales vertidos de fábricas entre otros.

### **Dimensiones del medidor Parshall**

Los medidores menos empleados son los de 1 pulg (2.54 cm) de ancho de garganta y el mayor construido hasta hoy mide 50 pies (15.24 m) y tiene una capacidad para 85,000 l/s. (Lux, 2010)

#### *Fórmulas y tablas para el cálculo del caudal en un medidor Parshall*

Según experimentos y ensayos realizados utilizando canales Parshall se han obtenido ecuaciones para calcular el caudal de tipo potencial, a cuál se define:

$Q: K * (H)^n$ ; donde:

Q: Caudal en m<sup>3</sup> /seg.

K: Carga medida aguas arriba de la garganta en metros.

n: Exponente que varía de 1.52 a 1.60.

K: Factor que depende del ancho de la garganta.

En la siguiente tabla se presentan los valores del coeficiente "K" para los sistemas métrico e inglés, así como los del exponente "n", para gargantas de 1 pulgada hasta 8 pies.

**Tabla 4. .** Valores de los parámetros en aforadores Parshall

Ancho de la garganta, W	K	n
1"	0.0604	1.55
2"	0.1207	1.55
3"	0.1771	1.55
6"	0.3812	1.58
9"	0.5354	1.53
1'	0.6909	1.522
1.5'	1.056	1.538
2'	1.428	1.550
3'	2.184	1.566
4'	2.953	1.578
5'	3.732	1.587
6'	4.519	1.595
7'	5.312	1.601
8'	6.112	1.607

Nota: Recuperado de Azevedo y Acosta

- Método Volumétrico: Se basa en la medición directa del caudal empleando un recipiente graduado cuyo tiempo de llenado sea medido o controlado mediante un cronometro.

Este método es muy sencillo y su caudal se obtiene mediante la ecuación:

$$Q = \frac{V}{T}$$

Dónde:

Q: Caudal (L/s)

V: Volumen del recipiente (L)

T: Tiempo de llenado (s)

### 3.6.2 Muestreo de aguas residuales

Las técnicas de muestreo de aguas residuales se usan para diversos propósitos como:

- Datos de operaciones de rutina sobre el funcionamiento de la planta de tratamiento.
- Datos que se pueden usar para implementar nuevos programas o propuestas.
- Datos para reportar el cumplimiento y seguimiento de las normas vigentes.

Para alcanzar estos requerimientos la recolección de datos debe ser representativa, reproducible, sustentada y útil. Toda la documentación obtenida en el muestreo servirá como base para el manejo adecuado de las aguas residuales. Se les puede clasificar de forma general en dos tipos:

*Muestra simple:* Se basa en las características del agua en el momento que la muestra es tomada. Se usa generalmente cuando el caudal del agua a analizar posee una composición constante, cuando el flujo de agua es intermitente. El volumen mínimo de una muestra simple se le puede considerar en un intervalo de 1-2 litros dependiendo de los parámetros a analizar.

*Muestra compuesta:* La que se toma por intervalos predeterminados durante el periodo de muestreo para completar un volumen proporcional al caudal, de manera que este resulte representativo de la descarga de aguas residuales, medido en el sitio y durante el periodo de muestreo. Para la obtención de la muestra compuesta, la misma deberá estar constituida por la mezcla homogénea de muestras puntuales con intervalo de 1 hora en representación al caudal y correspondiente al periodo total del día de trabajo de todas aquellas actividades industriales, comerciales, agroindustriales, de servicios domésticos reguladas. El tiempo máximo no debe exceder las 24 horas.

### **3.7 Legislación nacional relacionada con el recurso agua**

En lo relacionado a manejo de aguas residuales, la legislación nacional es dispersa y se vincula a la creación de órganos del Estado a los que se asignan competencias para tales fines y otras que por su carácter si bien no regulan estrictamente las aguas residuales, son vinculantes ya que las mismas se refieren a salud pública, a la gestión del medio ambiente o al manejo de los recursos naturales, así tenemos que el marco legal relacionado lo componen los siguientes instrumentos (López y García 2011):

Constitución política de Nicaragua (1987), Carta Magna o Ley Fundamental, donde se consignan los derechos, deberes y obligaciones de los nicaragüenses y de las personas que habitan en el territorio, en su Arto. 60 indica que los nicaragüenses tienen derecho de habitar en un ambiente saludable y que es obligación del Estado la preservación, conservación y rescate del medio ambiente y de los recursos naturales.

En el artículo 102 indica que los recursos naturales son patrimonio nacional y que la preservación del ambiente y la conservación, desarrollo y explotación racional de los recursos naturales corresponde al Estado, este podrá celebrar contratos de explotación nacional de estos recursos, cuando el interés nacional lo requiera.

Por su parte la Ley No. 217, Ley General del Medio Ambiente y los Recursos Naturales, regula todo lo concerniente a la gestión ambiental de los recursos naturales y el medio ambiente. En relación con las aguas residuales establece en su Arto. 87 que el uso del agua requerirá de autorización previa especialmente para los casos de verter aguas residuales o de sistemas de drenajes de aguas pluviales y para inyectar aguas residuales provenientes de actividad geotérmica.

Asimismo, en su artículo 125 establece que el MARENA como autoridad competente determinara, en consulta con los sectores involucrados, el destino de las aguas

residuales, las características de los cuerpos receptores y el tratamiento previo, así como las concentraciones y cantidades permisibles.

También la Ley No. 40, Ley de Municipios, reformada y con incorporaciones, Ley 40 le da competencia a los Gobiernos Municipales para desarrollar, conservar y controlar el uso racional del medio ambiente y los recursos naturales como base del desarrollo sostenible del Municipio y el país, fomentando iniciativas locales en estas áreas y contribuyendo a su monitoreo, vigilancia y control, en coordinación con los entes nacionales correspondientes. También establece la participación con el MARENA en la Evaluación de los Estudios de Impacto Ambiental, previo al permiso del permiso, ambiental.

De igual manera, la Ley 275, Ley de Reforma a la Ley Orgánica del Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillado (INAA), define como entidad responsable de la regulación y fiscalización del sector agua potable y alcantarillado sanitario en el país al INAA, teniendo entre sus funciones y atribuciones: fiscalizar y controlar el cumplimiento de las normas de calidad del agua para consumo humano puestas en vigencia por el Ministerio de Salud; fiscalizar en coordinación con el MARENA en el cumplimiento de las normas de protección al medio ambiente y los recursos naturales, relacionados con la defensa y conservación de las fuentes de agua que utilizan los sistemas de abastecimiento para consumo humano; velar por el buen funcionamiento del servicio de agua potable y alcantarillado y definir sus indicadores de calidad, confiabilidad y seguridad.

Ley 276, Ley de creación de la Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados sanitarios (ENACAL) LEY No. 276, fija en su Arto. 3, que la empresa tendrá como objetivo brindar el servicio de agua potable, recolección, tratamiento y disposición de aguas residuales; para tales efectos podrá realizar las actividades siguientes:

- 1) Captar, tratar, conducir, almacenar, distribuir y comercializar agua potable y recolectar, tratar y disponer finalmente de las aguas residuales.
- 2) Obtener, comprar y vender agua cruda y potable, así como comercializar los servicios de recolección, tratamiento y disposición final de las aguas residuales.
- 3) Tomar todas las medidas necesarias para que las descargas de los sistemas de alcantarillados sanitarios cumplan las normas de vertido establecidas por la Ley.

Posteriormente la Ley 479; reforma parcialmente la Ley 276, Ley Creadora de ENACAL, y exime del pago de todos los derechos fiscales e impuestos que graven la importación o compra local de maquinarias, equipos, materiales e insumos destinados exclusivamente a la producción, tratamiento o distribución del agua potable para consumo humano, así como la recolección, tratamiento y disposición de las aguas servidas, en los servicios de alcantarillado sanitario.

Dicha institución tiene además competencias derivadas de la Ley No. 297, Ley General de los Servicios de Agua Potable Alcantarillado Sanitario que regula las actividades de producción de agua potable, su distribución, la recolección de aguas servidas y la disposición final de éstas teniendo entre sus objetivos particulares: la exploración, producción y distribución de agua potable y la recolección y disposición de las aguas servidas. Esta Ley sufre modificaciones mediante la Ley No. 480 (Reformas a la Ley 297), Ley General de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario, en la que se fija la metodología para el establecimiento del régimen tarifario.

Del mismo modo, la Ley 620, Ley General de Aguas Nacionales, tiene por objeto establecer el marco jurídico institucional para la administración, conservación, desarrollo, uso, aprovechamiento sostenible, equitativo y de preservación en cantidad y calidad de todos los recursos hídricos existentes en el país, sean estos superficiales, subterráneos, residuales y de cualquier otra naturaleza, garantizando a su vez la protección de los demás recursos naturales, los ecosistemas y el ambiente. Crea el Registro Público Nacional de los Derechos del Agua (RNDA) en el

que deberán inscribirse todos los títulos que otorguen derechos sobre el recurso y en el mismo deben inscribirse los permisos para el vertido de aguas residuales, instrumento que viene a fortalecer la gestión ambiental en este sector.

En materias de aguas residuales establece disposiciones dispersas en todo el instrumento en el artículo 8-El régimen de propiedad de la Nación sobre las aguas subsistirá aun cuando las aguas, mediante la construcción de obras, sean desviadas del cauce o vasos originales, se impida su afluencia a ellos o sean objeto de tratamiento. Las aguas residuales provenientes del uso de las aguas nacionales, también tendrán el mismo régimen de dominio, cuando se descarguen en cuerpos receptores de propiedad nacional.

En el artículo 50 establece que corresponde al MARENA emitir las normas técnicas relacionadas con el vertido de aguas residuales, las cuales se encuentran elaboradas y contenidas en el Arto. 87 en el que se establece el pago de un canon por el uso o aprovechamiento de aguas nacionales y los bienes nacionales que administre la Autoridad del Agua. Este canon se establecerá y aprobará mediante Ley especial dictada por la Asamblea Nacional.

En el artículo 101 El MARENA en consulta con la Autoridad del Agua, con el objeto de asegurar la protección de las aguas nacionales, deberá Coordinar los estudios y demás trabajos necesarios para determinar los parámetros que deberán cumplir los vertidos, la capacidad de asimilación y dilución de los cuerpos de aguas nacionales y las cargas de contaminantes que éstos pueden recibir, y en el Arto. 102 establece la figura del permiso de vertidos para que las personas naturales o jurídicas, públicas o privadas requieren de permiso otorgado por la Autoridad del Agua de conformidad a las normas y lineamientos establecidos por MARENA para verter en forma permanente, intermitente u ocasional aguas residuales en cuerpos receptores que sean aguas nacionales o bienes del dominio público, incluyendo las aguas marítimas, igualmente para infiltrar o inyectar en terrenos que sean bienes nacionales o en otros terrenos, cuando puedan contaminar el subsuelo o los acuíferos. Este permiso será

otorgado por el ANA de conformidad a las normas y lineamientos establecidos por MARENA. No obstante, lo antes referido, fue hasta en este año que se nombre a la Autoridad Nacional del Agua, quedando aun los cánones por ser definidos.

Por otra parte, en el artículo 105, El MARENA previa verificación propia de sus funciones, o a propuesta de la ANA, podrá ordenar la suspensión de las actividades que den origen a los vertidos de aguas residuales, en el caso de que los mismos sobrepasen los límites permisibles, así mismo declarar en el Arto. 106 declarar la extinción del permiso de vertido de aguas residuales cuando se dejen de pagar los cánones de vertido por más de un año fiscal, sin haberse autorizado plazos para el pago.

En relación con las descargas en el artículo 107 estable que en localidades que carezcan de sistemas de alcantarillado y saneamiento, las personas naturales o jurídicas que en su proceso productivo no utilicen como materia prima, sustancias que generen en sus vertidos de aguas residuales metales pesados, cianuros o tóxicos y su volumen de descarga no exceda de dos mil (2000) metros cúbicos mensuales, podrán llevar a cabo sus descargas de aguas residuales previo permiso de la autoridad competente, pero sujetos a las disposiciones establecidas en las normas técnicas obligatorias nicaragüenses vigentes. Las no mencionadas en este artículo estarán sujetas a construir los sistemas de tratamiento de las aguas servidas, previo permiso y de conformidad a las normas técnicas obligatorias vigentes.

Es necesario observar que de acuerdo a la disposición de la ley General de Aguas Nacionales, ENACAL y el INAA subsisten como entidades del sector con funciones determinados en sus respectivos marcos legales.

En lo referente a las zonas costeras son muy pocas las disposiciones que se encuentran sobre vertidos en la Ley No. 690, Ley para el desarrollo de las zonas costeras y su reglamento Decreto 78-2009.



Norma Técnica Obligatoria para regular los Sistemas de Tratamiento de las Aguas Residuales y su reúso NTON 05 027-05 Publicada en La Gaceta No. 90 del 10 de Mayo del 2006, la cual tiene por objeto establecer las disposiciones y regulaciones técnicas y ambientales para la ubicación, operación y mantenimiento, manejo y disposición final de los desechos líquidos y sólidos generados por los sistemas de tratamiento de las aguas residuales domésticas, industriales y agropecuarias; incluyendo el reúso de las aguas tratadas.

**Decreto 33-95: Disposiciones para el control de contaminación, provenientes de las descargas de aguas residuales, domésticas y agropecuarias**

El Decreto 33-95, Aprobado el 14 de junio del mes de 1995, nació como una exigencia de organización financieras internacionales para otorgar al país los fondos para el sistema de tratamiento de las aguas residuales de la ciudad de Managua. Los contaminantes definidos para el vertido en cuerpos receptores se definieron en base al buen juicio profesional, comparando la legislación existente en otros países latinoamericanos.<sup>8</sup>

El 30 de noviembre de 2017 el decreto 33-95, recibió modificaciones de algunos parámetros de calidad de vertido, mediante el **Decreto No. 21-2017** en la cual anexaron parámetros que no estaban en el decreto anterior como: Nitrógeno Total y Fósforo Total, y eliminó el parámetro Sustancias Activas al azul de metileno (SAAM).

En el Capítulo V “los Vertidos Provenientes de Sistemas de Tratamiento a Cuerpos Receptores”, están regidos por los siguientes artículos:

**Artículo 24.** Límite Permisible de Coliformes Fecales. El límite máximo permisible de Coliformes Fecales se regirá por medio del Principio de Gradualidad, con el objetivo de lograr la aplicación de la Mejor Tecnología de Practica Disponible, para responder

---

<sup>8</sup> Análisis Jurídico a la Legislación Nacional sobre vertidos residuales domésticos e industriales en cuerpos de aguas superficiales.

de manera progresiva a la disminución de la contaminación provenientes de las descargas de aguas residuales, siempre y cuando el vertido no se deposite a cuerpos de agua donde se afecte la salud humana (manteniendo los rangos establecidos por el Ministerio de Salud). Se establecen los siguientes límites y periodos de tiempo:

En caso de realizar el reúso de los vertidos tratados, se regirá por lo establecido en la NTON 05-027-05 Norma Técnica Ambiental para Regular los Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales y su Reúso, publicada en La Gaceta, Diario Oficial No. 90 del diez de mayo del año 2006.- Ver Tabla 5.

**Tabla 5.** Límite Permisible de Coliformes Fecales

Periodo de tiempo	2017-2022	2023-2026	2027-2029
Coliformes Fecales	(1x10 <sup>5</sup> )	(1x10 <sup>4</sup> )	(1x10 <sup>3</sup> )

Nota: Recuperado del Decreto 21-2017, MARENA.

En el artículo 25 sobre Rangos y valores máximos permisibles para los vertidos de las aguas residuales provenientes de los sistemas de tratamiento del Alcantarillado Sanitario. Los vertidos de las aguas residuales provenientes de los sistemas de tratamiento del Alcantarillado Sanitario a los cuerpos receptores, deberán cumplir los rangos y valores máximos permisibles siguientes: Ver Tabla 6.

**Tabla 6.** Parámetros de calidad de vertidos decreto 21-2017

Parámetro	Rangos y Valores Máximos Permisibles
Ph	6-9
Sólidos Suspendidos Totales (mg/l)	100
Sólidos Sedimentables (mg/l)	1
Aceites y Grasas Totales (mg/l)	20
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	110
DQO (mg/l)	220
Nitrógeno Total (mg/l)	45
Fósforo Total (mg/l)	15

Nota: Recuperado del Decreto 21-2017 MARENA.

### **3.8 Criterios para evaluar las plantas de tratamiento para aguas residuales**

En el país existen normativas y decretos que regulan los sistemas de Tratamiento de Aguas residuales y su reúso de aguas tratadas, en los mismos se indican frecuencia de muestreos, tipo de muestras a tomar, entre otros.

En el Decreto 33-95: “Disposiciones para el Control de la Contaminación proveniente de las Descargas de Aguas Residuales Domésticas, Industriales y Agropecuarias en el Capítulo 4, artículo 10- Las caracterizaciones y monitoreo de los efluentes serán responsabilidad del propietario de la empresa o proyecto, quien sufragará todos los costos relacionados con dichas actividades.

En la Norma Técnica Obligatoria para regular los Sistemas de Tratamiento de las Aguas Residuales y su reúso NTON 05 027-05. En el artículo 12. Monitoreo de las aguas residuales, en el Ítem 12.1 Para la vigilancia y el control de efluentes de STAR que descarguen a cuerpos receptores se utilizará las mismas frecuencias de muestreo y análisis establecidos en el Anexo 1 del Decreto 33-95 2. Disposiciones que regulan las descargas de Aguas Residuales Domesticas provenientes de los sistemas de tratamientos en el Lago Xolotlán”.

12.3 Las muestras para la realización de los análisis en general deben ser tipo compuesta, como se describe en el artículo 17 y 18 del Decreto 33-95 “Disposiciones para el Control de la Contaminación proveniente de las Descargas de Aguas Residuales Domésticas, Industriales y Agropecuarias”.

12.4 El MARENA, MINSA, INAA según su competencia exigirán frecuencias y parámetros diferentes a los descritos en Arto. 12 de la presente Normativa y el Decreto 33-95 “Disposiciones para el Control de la Contaminación proveniente de las Descargas de Aguas Residuales Domésticas, Industriales y Agropecuarias”, en dependencia del tipo del sistema de tratamiento utilizado y en aquellos casos en que la protección de la salud pública y del ambiente, así lo requieren.

*CAPÍTULO IV*  
*DISEÑO METODOLÓGICO*

## **4. Diseño Metodológico**

### **4.1 Tipo de estudio**

El estudio es de tipo experimental, aplicado en campo, el cual fue realizado en el período comprendido entre **septiembre 2018-mayo 2019**.

Los *diseños experimentales* son propios de la investigación cuantitativa. Son casi impensables para el enfoque cualitativo (al menos en el principio del estudio o antes de la inmersión inicial en el campo o contexto de investigación). Al respecto, Babbie, (2001), menciona “que el término “experimento” tiene al menos dos acepciones, una general y otra particular. La general se refiere a “tomar una acción” y después observar las consecuencias”. Este uso del término es bastante coloquial; así, se habla de “experimentar” cuando se mezclan sustancias químicas y se ve la reacción de este hecho. La esencia de esta concepción de “experimento” es que requiere la manipulación intencional de una acción para analizar sus posibles efectos.

El estudio se desarrolló en las siguientes etapas:

### **4.2 Etapa exploratoria y estudios de campo**

#### **4.2.1 Inspección y ubicación de puntos de muestreo**

Consistió en hacer una inspección previa de las instalaciones del sitio donde se contó con la colaboración del Sr. Humberto González, Operador de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) en el municipio de Masatepe, para conocer el lugar y planificar con anticipación las actividades a realizar durante el levantamiento de datos, misma visita que sirvió para determinar los siguientes aspectos:

- La ubicación de los puntos en la PTAR, para realizar la medición de los caudales.
- Selección de los puntos de muestreos para la toma de aguas residuales.
- Preparación de materiales y equipos.

#### **4.2.2 Recolección de información**

- a) La Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (ENACAL)-Filial Masatepe facilitó información necesaria para la Evaluación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, tales como:
- Cantidad de usuarios conectados a la red de Alcantarillado Sanitario, del Municipio de Masatepe, según base de datos programa Excel.
  - Cantidad de usuarios conectados a la red de Agua potable, del Municipio de Masatepe, según base de datos programa Excel.
  - Cantidad de m<sup>3</sup> de agua potable consumidos por usuarios de Enacal Año 2018 del Municipio de Masatepe.
- b) El personal del Laboratorio de Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (ENACAL) proporcionó información sobre los procedimientos para la toma de muestras, almacenamiento y traslado de aguas residuales desde la PTAR Masatepe hacia Managua, así mismo facilitó algunos equipos y materiales a utilizar.
- c) La Alcaldía Municipal de Masatepe proporcionó información sobre Caracterización del Municipio.

#### **4.3 Etapa de levantamiento de datos**

Esta etapa incluye, las siguientes actividades:

##### **4.3.1 Medición de caudal**

Se realizaron tres aforos comprendidos en el mes de febrero 2019 con una duración de 11 horas por día con una frecuencia de cada hora.

Se midió el caudal en la entrada general del afluente utilizando la canaleta Parshall (A) existente, la medición consistió en medir la altura de agua (Ha) cada hora y luego

introducirla en una ecuación correspondiente a las dimensiones de la canaleta para obtener un caudal en lt/s. (Ver Foto No. 12, en Anexos)

En el tratamiento primario (tanque Imhoff), en la entrada se utilizó la canaleta Parshall (B) existente y para la salida, se utilizó método volumétrico.

En la entrada y salida del biofiltro se utilizó el método volumétrico que consistió, en la medición directa del caudal empleando el recipiente graduado de 20 lt cuyo tiempo de llenado fue medido y controlado mediante un cronómetro.

Se calculó el caudal, mediante la ecuación:

$$Q = \frac{V}{T}$$

Dónde:

Q: caudal (L/s)

V: Volumen del recipiente (L)

T: Tiempo de llenado (s)

#### **4.3.2 Toma de muestras de aguas residuales**

Se definieron 4 puntos diferentes:

1. Entrada general de la PTAR.
2. Salida del desarenador.
3. Salida del tanque Imhoff.
4. Salida de la PTAR.

- Se tomó una (1) muestra compuesta por punto, en total 4 muestras compuestas, contenidas en un recipiente de 1 galón, se integró volúmenes de muestras de 630 ml, cada hora por 6 horas (Ver foto No. 13 y 14 en Anexos).

Estas muestras fueron enviadas al laboratorio de Aguas Residuales de Enacal-Central, donde se analizaron los parámetros establecidos en el decreto 33-95, decreto 21-2017 tales como:

- Coliformes fecales.
- PH.
- Sólidos Suspendidos Totales.
- Solidos Sedimentables.
- Aceites y grasas totales.
- DBO<sub>5</sub>.
- DQO.
- Nitrógeno total.
- Fósforo total.

En la realización de las diferentes actividades: Medición de caudales, toma de muestras compuestas y medición de PH y temperatura, se utilizaron los siguientes materiales:

- Galones plásticos de 4 lts.
- Masking tape.
- Marcador color azul.
- Probeta de 1000 ml
- Pichel plástico de 1lt.
- Balde plástico de 20 lt.
- Hielo.
- Termo.
- Agua destilada.
- Cronómetro.
- Reloj.
- Cinta Métrica.
- Cámara Fotográfica.
- Phímetro y Termómetro.



- Libreta de Anotaciones.
- Lapicero.
- Guantes de cuero.
- Mascarilla descartable.

## **Medición del PH y temperatura**

Se realizó medición de PH y temperatura con el PH-imetro, durante seis (6) horas con intervalo de cada hora, en: Entrada general de la PTAR, después del desarenador, salida del tanque Imhoff, salida del biofiltro (Ver foto No. 15 en Anexos).

## **4.4 Análisis y procesamiento de datos**

### **4.4.1 Caudales de entrada y salidas a la planta**

Se calcularon los caudales promedios de los tres (3) días de monitoreo (caudal máximo, caudal mínimo, caudal promedio) en la entrada general de la PTAR, en la entrada y salida del tanque Imhoff y biofiltro y se comparó con el caudal utilizado para el diseño de la planta.

### **4.4.2 Consumo per cápita**

Se determinó el consumo per cápita, con el registro del consumo anual del año 2018 y la cantidad de población servidas del municipio de Masatepe, datos que fueron proporcionado por ENACAL-Filial Masatepe.

### **4.4.3 Factor de retorno**

Utilizando el consumo per cápita calculada y el caudal promedio obtenido de los tres (3) monitoreos realizados, se determinó el factor de retorno para el Municipio de Masatepe.

## **4.5 Evaluación hidráulica de los elementos que componen la planta de tratamiento.**

Se calcularon las cargas hidráulicas y cargas contaminantes de las etapas que conforman la PTAR Masatepe, en base a los criterios de diseño del INAA.

### **4.5.1 Tanque Imhoff**

#### *4.5.1.1 Período de retención hidráulico*

Se calculó como la relación de volumen entre el caudal.  $Pr = V/Q$ , según la literatura en el tanque Imhoff el valor está entre 2 - 4 horas.

#### *4.5.1.2 Carga superficial en la zona de sedimentación*

Se calculó como la relación del caudal entre el área del sedimentador ( $q=Q/As$ ). Se recomienda entre 1 -1.7 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.hora, esto para generar una óptima sedimentación y así los sólidos puedan regresar al digestor.

#### *4.5.1.3 Velocidad horizontal del flujo*

Es la velocidad con la cual el flujo asciende dentro del reactor, se calculó como la relación del caudal medio entre el área transversal por el número sedimentadores ( $\frac{Q_m}{ATs*N_s}$ ) del Tanque. Esta debe ser menor de 30 cm/min.

### **4.5.2 Biofiltro**

#### **4.5.2.1 Período de retención hidráulico.**

El tiempo en que el agua residual pasa dentro del humedal, se calculó como volumen del humedal /caudal, y se recomienda valores entre 2–5 días.

$$TR = \frac{B \times L \times h \times n}{Q_{prom}}$$

#### 4.5.2.2 Carga hidráulica

Se calculó como la cantidad de agua residual (caudal) aplicada sobre la unidad de área superficial del humedal (Caudal / Área) y se expresó en unidades de m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/año.

$$Ch = \frac{Q}{Area}$$

$$Área\ Superficial = B \times L$$

### 4.6 Eficiencias del sistema de tratamiento

Con los resultados obtenidos de los análisis físicos químicos y bacteriológicos que se realizaron a las muestras tomadas, se determinaron las eficiencias que tiene cada sistema en la remoción de cada uno de los parámetros, analizando en base al Decreto 33-95 y Decreto 21-2017.

*CAPÍTULO V*  
*CÁLCULO Y RESULTADOS*

## 5. Cálculo y Resultados

### 5.1 Cálculo de caudal en las etapas de la PTAR

#### 5.1.1 Caudal en la entrada de la PTAR

En el Gráfico No.1, se puede observar que en el monitoreo realizado durante 11 horas, por un periodo de tres días (viernes, sábado, miércoles), ver tabla 24 en Anexos; el caudal máximo promedio se obtuvo entre las 9:00 a.m.- 10:00 a.m., con un valor 220.08 m<sup>3</sup>/día (2.55 l/s), caudal mínimo promedio de 40.40 m<sup>3</sup>/día – 0.47 l/s entre las 2:00-3:00 p.m., caudal medio promedio de 115.29 m<sup>3</sup>/día – 1.33 l/s. (Ver tabla 23 en Anexos).

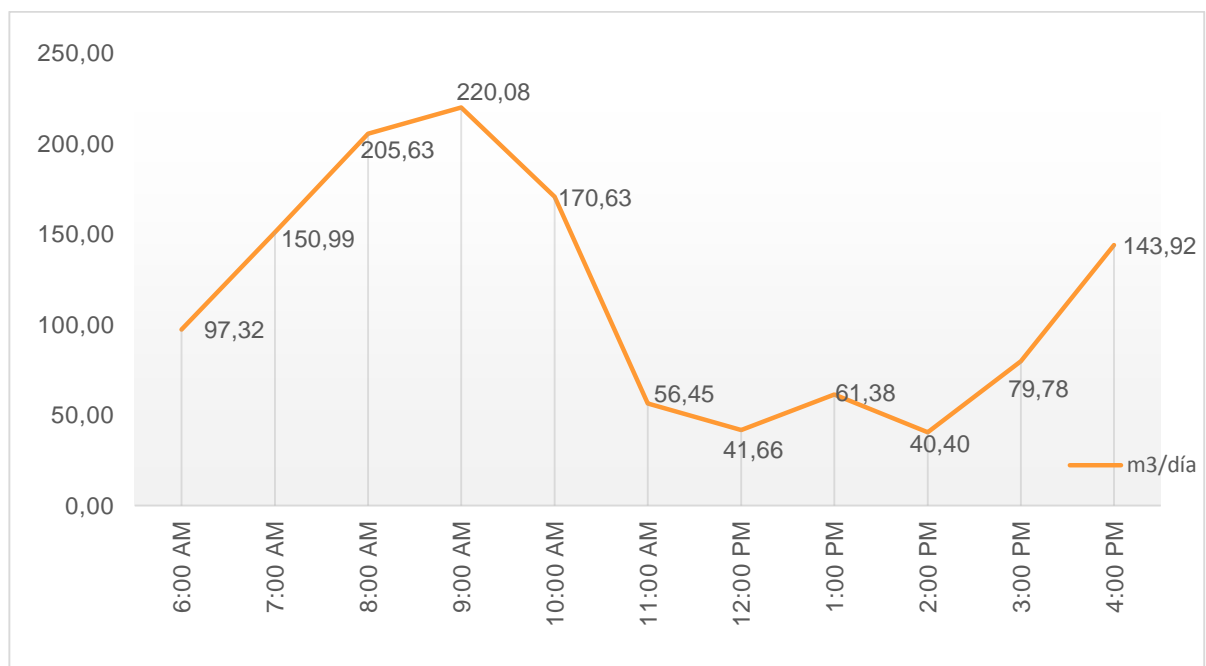


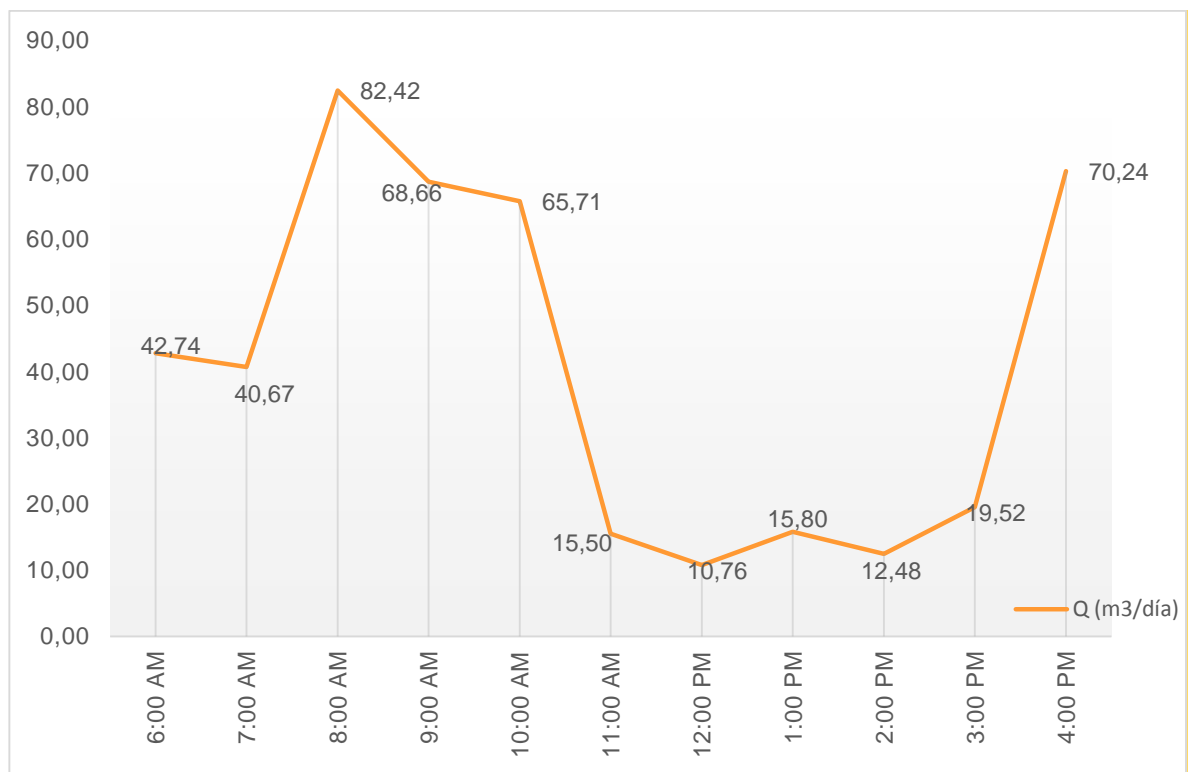
Gráfico 1. Monitoreo de caudal en la entrada de la PTAR-Masatepe

Nota: Elaboración propia, con datos obtenidos en campo.

## 5.1.2 Caudales en tanque Imhoff

### 5.1.2.1 Caudal en la entrada del tanque Imhoff

En el monitoreo realizado durante 11 horas en la entrada del tanque Imhoff, por un periodo de tres días (viernes, sábado, miércoles), ver gráfico.2, se obtuvo que el caudal máximo promedio fue a las 9:00 a.m., con un valor  $82.42 \text{ m}^3/\text{día}$ - $0.95 \text{ l/s}$ , caudal mínimo promedio de  $10.8 \text{ m}^3/\text{día}$  - $0.12 \text{ l/s}$  entre las 12:00-3:00 p.m., caudal medio promedio de  $39 \text{ m}^3/\text{día}$ - $0.45 \text{ l/s}$ . (Ver tabla 24 en Anexos).



**Gráfico 2. Monitoreo de caudal en la entrada del tanque Imhoff**

Nota: Elaboración propia, con datos obtenidos en campo.

### 5.1.2.2 Caudal en la salida del tanque Imhoff

En el monitoreo realizado durante 11 horas en la salida del tanque Imhoff, por un periodo de tres días (viernes, sábado, miércoles), ver gráfico 3, se obtuvo que el caudal máximo promedio fue a las 9:00 a.m., con un valor  $272.2 \text{ m}^3/\text{día} - 3.15 \text{ l/s}$ , caudal mínimo promedio de  $58.72 \text{ m}^3/\text{día} - 0.68 \text{ l/s}$  a las 2:00 p.m., caudal medio promedio de  $149.3 \text{ m}^3/\text{día} - 1.73 \text{ l/s}$ . (Ver tabla 25 en Anexos).

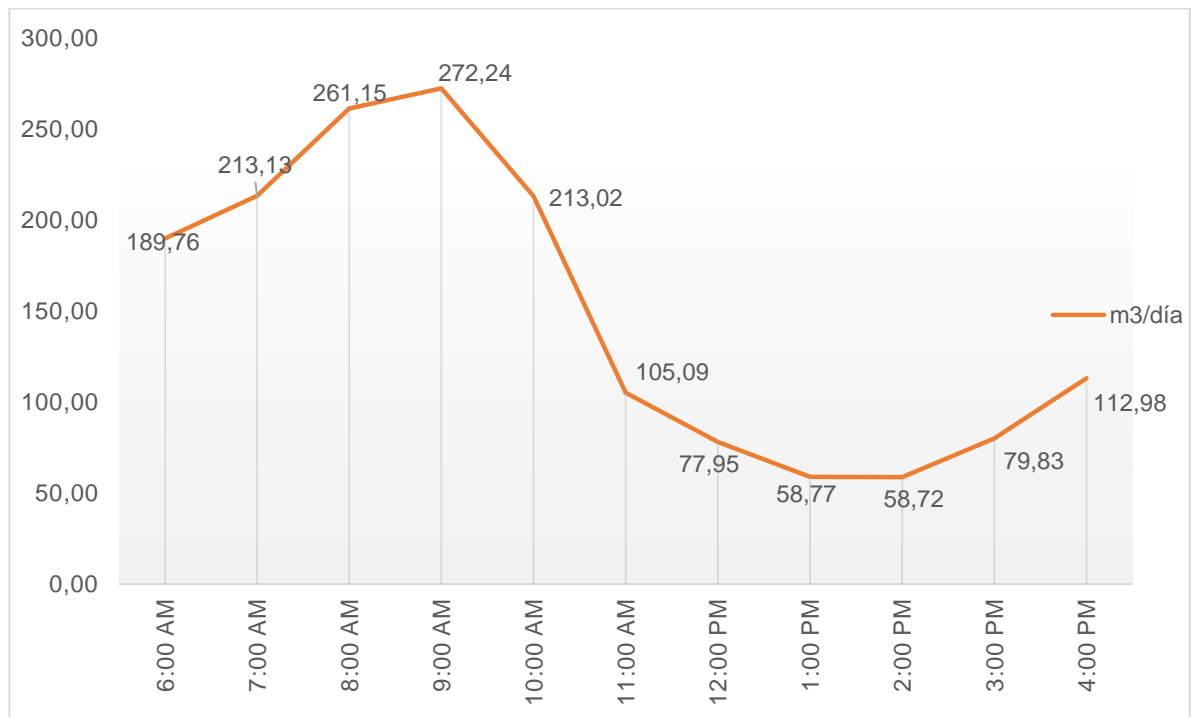


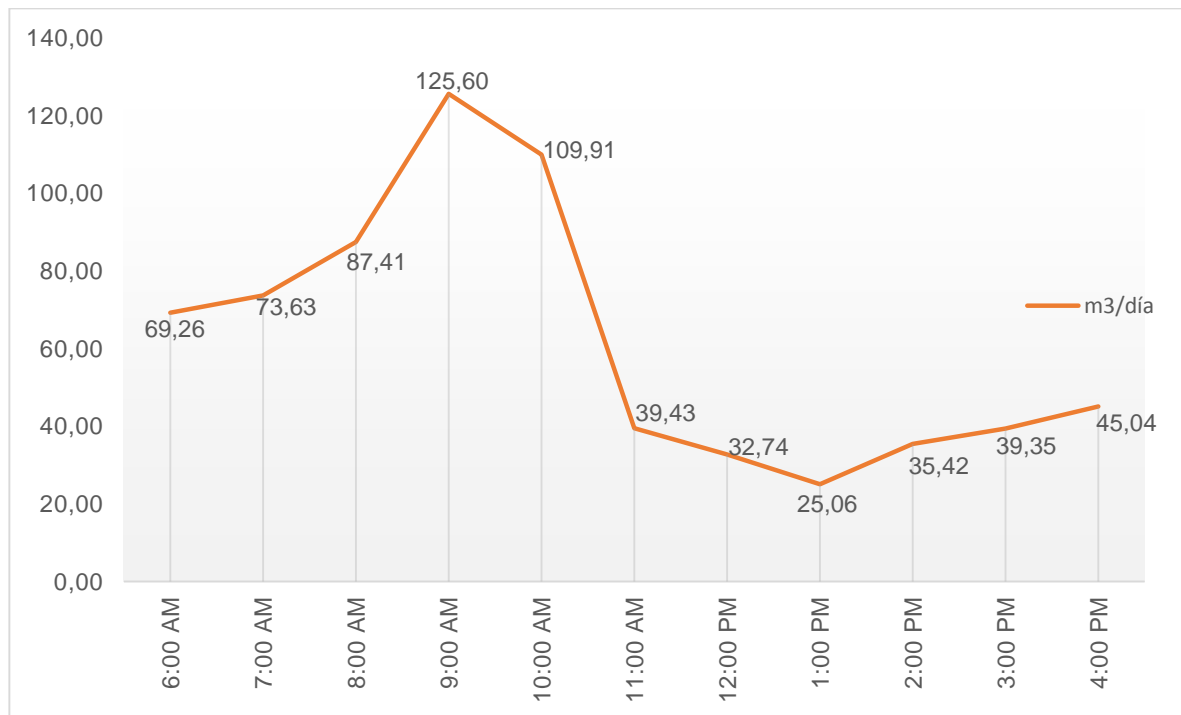
Gráfico 3. Monitoreo de caudal en la salida del tanque Imhoff

**Nota:** Elaboración propia, con datos obtenidos en campo

### 5.1.3 Caudales en biofiltro

#### 5.1.3.1 Caudal en la entrada del biofiltro

En el monitoreo realizado durante 11 horas en la entrada del biofiltro, por un periodo de tres días (viernes, sábado, miércoles), ver gráfico 4, se obtuvo que el caudal máximo promedio fue a las 9:00 a.m., con un valor  $125.6 \text{ m}^3/\text{día}$  –  $1.45 \text{ l/s}$ , caudal mínimo promedio de  $25.1 \text{ m}^3/\text{día}$ – $0.29 \text{ l/s}$  a las 1:00 p.m., caudal medio promedio de  $62.08 \text{ m}^3/\text{día}$  –  $0.72 \text{ l/s}$ . (Ver tabla 26 en Anexos).



**Gráfico 4. Monitoreo de caudal en la entrada de biofiltro**

**Nota:** Elaboración propia, con datos obtenidos en campo.



### 5.1.3. 2 Caudal en la salida del biofiltro

En el monitoreo realizado durante 11 horas en la salida del biofiltro, por un período de tres días (viernes, sábado, miércoles), ver gráfico 5, se obtuvo que el caudal máximo promedio fue a las 12:00 p.m., con un valor 134 m<sup>3</sup>/día -1.55 l/s, caudal mínimo promedio de 23 m<sup>3</sup>/día – 0.26 l/s las 7:00 a.m., caudal medio promedio de 78,76 m<sup>3</sup>/día – 0.90 l/s. (Ver tabla 27 en Anexos).

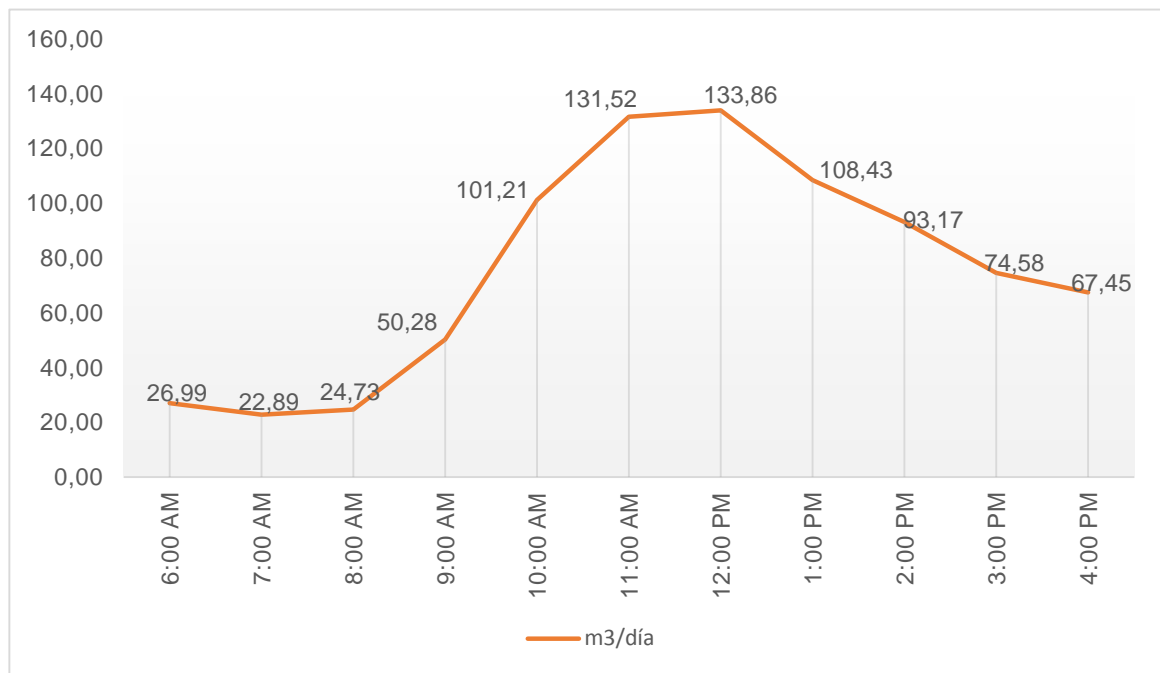


Gráfico 5. Monitoreo de caudal en la salida de biofiltro

Nota: Elaboración propia, con datos obtenidos en campo.

## 5.2 Comparación del caudal de diseño vs caudal de operación

La Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados ENACAL estableció una población de 4,867 personas con un caudal de diseño de 460 m<sup>3</sup>/día, para las etapas de pre-tratamiento y tratamiento primario. El resultado obtenido en los monitoreos realizados se obtuvo un caudal promedio de 115.29 m<sup>3</sup>/día, lo que indica que se está utilizando un 25% de su caudal de diseño.

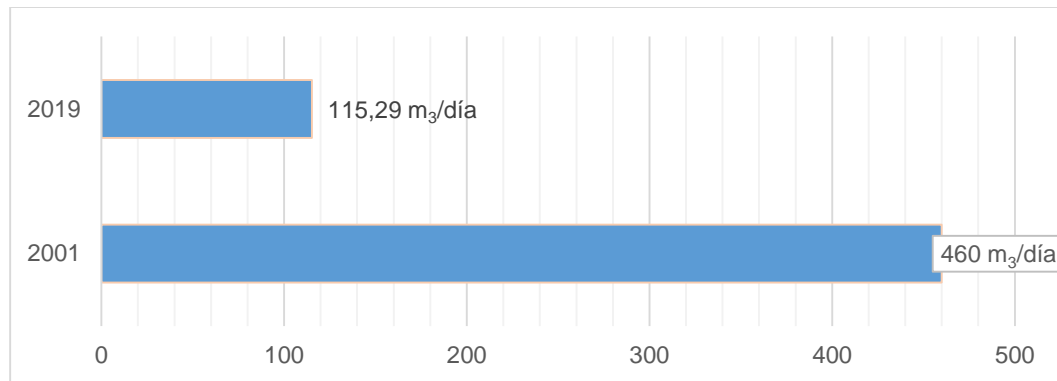


Gráfico 6. Comparativo del caudal de operación vs. caudal de diseño

*Nota:* Elaboración propia con datos obtenidos en campo.

## 5.3 Cálculo del consumo per cápita

Según información suministrada por Enacal el consumo anual del agua potable para el Municipio de Masatepe año 2018 fue de 960.770,00 m<sup>3</sup>/año correspondiente al consumo de 16,879 personas, datos que sirvieron para el cálculo del consumo per cápita.

$$\text{Consumo per cápita } A_p = \frac{960.770,00 \text{ m}^3/\text{año}}{16.879 \text{ usuarios}} = 56.92 \text{ m}^3/\text{año/usuario}$$

$$\text{Consumo per cápita } A_p = \frac{56.92 \text{ m}^3/\text{año}}{365 \text{ días}} \times 1000 = 155.94 \text{ lt/día/usuario}$$

El valor obtenido para el consumo per cápita es de 155.95 lts/per/día, haciendo comparación a lo establecido en la “Guía Técnica para el diseño de Alcantarillado Sanitario y de Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales” en la cual se estima una dotación de agua potable para poblaciones de 15,000 a 20,000 habitantes de

120 l/hab/día. Si a esta dotación se le suma el 16% de Consumo comercial, industrial y público sería de 139.20 l/hab\*día, lo cual indica que el valor per cápita obtenido sobrepasa el valor estimado para este rango, por lo que se deduce que se está abasteciendo agua potable a más viviendas de las registradas en ENACAL, lo que puede significar que existen conexiones ilegales y/o usuarios no medidos, etc.

#### **5.4 Cálculo de factor de retorno**

$$\text{Fact. Retorno} = \frac{Q_{\text{diseño}} \times 1000}{\text{Población} \times \text{Cons. Percápit}} = \frac{115,29 \text{ m}^3 / \text{día} \times 1000}{1140 \text{ pers} \times 155.95 \text{ lts/pers/día}} = 0.64$$

Según normativa técnicas de INAA este porcentaje de retorno indica la cantidad de agua que es regresada a las redes de Alcantarillado Sanitario y el cual está regida por parámetros el cual ronda entre 60-80% del Agua potable (A.P) recibido, según cálculos obtenidos en esta planta de tratamiento el factor de retorno es de aproximadamente del 64 %, el cual el otro porcentaje no retornado se debe a varios factores como: Infiltración de agua en subsuelos debido a fugas en la redes de distribución de A.P, riego, lavado de autos, pisos, construcciones de viviendas, entre otros.

#### **5.5 Cargas hidráulicas, de las etapas que conforman la PTAR Masatepe**

Se calcularon las cargas hidráulicas actuales y se compararon con las de requerimientos según criterios de diseño.

##### **5.5.1 Tanque Imhoff**

En las tablas 7 y 8 se muestran los resultados.

**Tabla 7.** Resultados de cargas hidráulicas del sedimentador del tanque Imhoff

<b>Cámara de sedimentación</b>			
<b>Descripción</b>	<b>Valor Operación</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor Diseño</b>
Volumen total	69,77	m <sup>3</sup>	-
Volumen/habitante	0,06	m <sup>3</sup> /hab	-
Caudal máximo de operación	220.08	m <sup>3</sup> /d	
Área superficial existente	128.4	m <sup>2</sup>	
Periodo de retención sedimentador	7.61	hr	2.0 - 4.0
Carga superficial sedimentador	0.89	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> *h	1.0 - 1.7
Velocidad de flujo sedimentador	2	cm/min	30

**Nota:** Elaboración propia con información obtenida en campo.

**Tabla 8.** Resultados cargas hidráulicas de cámara de digestión del tanque Imhoff

<b>Cámara de digestión</b>			
<b>Descripción</b>	<b>Valor Operación</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor Diseño</b>
Volumen total	230,07	m <sup>3</sup>	-
Volumen/habitante	0.20	m <sup>3</sup> /hab	0.05 – 0.10
Tiempo de digestión de lodos =	168.52	día	40
% ÁVentilación/ASupTotal	0,19	%	15 - 30

**Nota:** Elaboración propia con información obtenida en campo

Según resultados obtenidos en la tabla 7 se puede observar que presenta valores bajos en relación a su valor de diseño, cumpliendo con la mayoría de los parámetros establecidos; en el tiempo de retención de la sedimentación se obtuvo un valor de 7.61 hr, un poco mayor a lo indicado en los parámetros, lo cual indica que el tanque Imhoff no está operando a su máxima capacidad (sub-utilizado) y esto conlleva a que se tome más tiempo en realizar sedimentación.

En la tabla 8, el valor de volumen/hab sobrepasa al valor estipulado para el cual fue diseñado, al igual que el tiempo de digestión de lodos; según la literatura, indica que a menor temperatura mayor números de días para la digestión: sin embargo

podemos observar que también al estar siendo subutilizado hace que el proceso sean más lento conllevando a más tiempo para procesar los lodos.

### Lecho de secado

**Tabla 9.** Resultados del Lecho de secado

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Masa de sólidos que conforman los lodos (Msd)	75.35	Kg SS/día
Volumen diario de lodos digeridos (Vld)	241.50	L/día
Volumen de lodos a extraerse del tanque (Vol)	7.25	m <sup>3</sup>
Área de lecho de secado por unidad (Als)	28.98	m <sup>2</sup>

*Nota:* Elaboración propia en base a información obtenidas en campo y resultados de laboratorio emitidos por Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillado Sanitario.

El área de secado utilizado según resultados de tabla 9, indica que solo se está utilizando el 5.50% equivalente 28.98 m<sup>2</sup> de su área superficial, ya que el área total es 522.64 m<sup>2</sup> valor mucho mayor al área a necesitar actualmente.

### 5.5.2 Biofiltro

En la siguiente tabla No. 10 se muestran los resultados de los caudales de entrada y salida:

**Tabla 10.** Resultados de caudales entrada y salida de biofiltro

<b>Monitoreos</b>	<b>Entrada en biofiltro m<sup>3</sup>/día</b>	<b>Salida en biofiltro m<sup>3</sup>/ día</b>
1	58.97	80.63
2	75.85	73.88
3	51.42	73.25
Promedio m <sup>3</sup> /día	<b>62.08</b>	<b>75.99</b>

*Nota:* Elaboración propia, en base a datos obtenidos en campo

Según monitoreos realizados durante 11 horas, por un periodo de tres (3) días, el caudal promedio de entrada en el biofiltro fue de 62.08 m<sup>3</sup>/día y el caudal promedio de salida fue de 75,99 m<sup>3</sup>/día, lo que indica caudal mayor en la salida equivalente a un 22%, sin embargo es importante mencionar que en la entrada del biofiltro existen 2 pequeños vertederos de pared delgada triangular con medidas cada uno de 15 cm ancho, 19 cm de altura, los cuales están conectados cada uno a un tubo de 6" al canal de distribución, esto permite distribuir la cantidad de agua equitativamente, al momento de realizar la medición se tapó un vertedero con una pequeña lámina de plycem y se dejó abierto el otro para tomar la medición, pero siempre hubo una filtración de caudal , debido a esto se observa mayor el caudal de salida.(Ver foto 16)

### **Cálculo de Tiempo de retención de biofiltro**

Se calculó el tiempo de retención del biofiltro, en base a dimensiones del biofiltro.

**Tabla 11.** Resultado del tiempo de retención de biofiltro

<b>B mínimo (m)</b>	<b>L (m)</b>	<b>h (m)</b>	<b>n</b>	<b>Qprom (m<sup>3</sup>/día)</b>	<b>TDR (días)</b>
50	50	0.70	0.45	62,08	13

*Nota:* Elaboración propia con resultados obtenidos en campo

Según criterios de diseño el tiempo de retención depende principalmente del tipo de contaminante a remover, para materia orgánica es suficiente 1 día de retención, mientras que para la remoción de E.coli es necesario un mínimo de 5 días, según resultados obtenidos, actualmente el biofiltro está reteniendo más días de lo indicado de los rangos establecidos en la bibliografía<sup>9</sup> , actualmente existe encharcamiento en la entrada del biofiltro (Ver foto 17), el canal de distribución del caudal de entrada se obstruye por hojas lo cual evita la libre circulación del agua biofiltro (Ver foto 18), actualmente las plantas de zacate Taiwán están pequeñas ya que habían caballos que entran a comer, y el cambio de sustrato no se ha realizado en buen tiempo

<sup>9</sup> Investigaciones y Experiencias con Biofiltro en Nicaragua y Centroamérica, abril 2004.

## Cálculo de carga hidráulica de biofiltro

Se calculó la carga hidráulica aplicada al biofiltro, en base a resultados obtenidos en el caudal promedio de entrada obtenido en los monitoreos realizados en el biofiltro.

**Tabla.12.** Resultado de carga hidráulica de biofiltro

<b>Qprom (m³/día)</b>	<b>días</b>	<b>B (m)</b>	<b>L (m)</b>	<b>Ch (m³/m² *año)</b>
62.08	365	50	50	9.00

**Nota:** Elaboración propia, con resultados obtenidos en campo

Según resultados obtenidos de la carga hidráulica se puede observar que se encuentra por debajo del rango establecido carga hidráulica de diseño 37 m/año recomendada para Nicaragua en estudios realizados en varias plantas de tratamiento.<sup>10</sup>

## 5.6 Determinación de eficiencias de remoción de contaminantes en las unidades del sistema de tratamiento

### 1. PH y temperatura

En la siguiente tabla se muestran los resultados de Ph y Temperatura:

**Tabla 13.** Resultados de Ph y temperatura

<b>Etapas de la PTAR</b>	<b>PH</b>	<b>Temperatura</b>
Entrada general	7,33	26,6
Pre-tratamiento	7,08	25,9
Tratamiento primario	7,24	27,8
Salida biofiltro	7,24	27,8

Nota: Elaboración propia, en base a información obtenida en campo y resultados de laboratorio emitidos por ENACAL.

El análisis de los resultados indica que existe un adecuado pH y Temperatura ya que los valores obtenidos se encuentran dentro del rango recomendado (6–9 para el pH), el cual garantiza el óptimo funcionamiento de las bacterias anaerobias, al igual que la temperatura es favorable para un crecimiento de microorganismos lo que garantiza la actividad bacteriana, logrando cumplir con el decreto 33-95 y el decreto en vigencia 21-2017.

## 2. Sólidos Suspendidos Totales (SST)

En la siguiente tabla se muestran los resultados de Sólidos Suspendidos Totales:

**Tabla 14.** Resultados de Sólidos Suspendidos Totales

<b>Etapas de la PTAR</b>	<b>Sólidos suspendidos totales (mg / l)</b>
Entrada general	504
Pre-tratamiento	254
Salida biofiltro	6

Nota: Elaboración propia en base a información obtenida en campo y resultados de laboratorio emitidos por ENACAL.

La remoción de Sólidos suspendidos totales fue de un total de 99%, el pre-tratamiento elimino el 60 % de sólidos, biofiltro elimino 94%, lo que indica que está en buen funcionamiento dicho sistema y se encuentra dentro del rango permitido en el decreto 33-95 y el decreto en vigencia 21-2017 que permite hasta un rango de 100 mg/l, lo cual permite mejorar la eficiencia de la PTAR en las siguientes etapas del tratamiento.

## 3. Sólidos Sedimentables (SS)

En la siguiente tabla se muestran los resultados de Sólidos sedimentables:



**Tabla 15.** Resultados de sólidos sedimentables

<b>Etapas de la PTAR</b>	<b>Sólidos sedimentables (mg / L)</b>
Entrada general	10
Pre-tratamiento	1
Tratamiento primario	0

Nota: Elaboración propia, en base a información obtenida en campo y resultados de laboratorio emitidos por ENACAL.

La remoción de sólidos sedimentables fue de un total de 100%, el Pre-tratamiento elimino el 90 %, lo que indica que está en buen funcionamiento dicho sistema y por lo tanto, no se está obstruyendo el paso de la luz solar desarrollándose la actividad fotosintética de las plantas acuáticas y concentrándose el oxígeno disuelto en el agua creando un estado anaerobio deseable, se encuentra dentro del rango permitido en el decreto 33-95 y el decreto en vigencia 21-2017 que permite un rango de 1 mg/l en el efluente.

#### **4. Aceites y grasas totales**

En la siguiente tabla se muestra los resultados de aceites y grasas totales:

**Tabla 16.** Resultados de aceites y grasas totales

<b>Etapas de la PTAR</b>	<b>Grasas y aceites totales (mg / L)</b>
Entrada general	179
Salida biofiltro	0

Nota: Elaboración propia, en base a información obtenida en campo y resultados de laboratorio emitidos por ENACAL.

La remoción de Aceites y grasas total fue de un total de 100%, en la entrada general un valor de 179 mg/l y en el Biofiltro 0 mg/l lo que nos indica que las etapas de tratamiento están funcionando de manera adecuada, logrando así remover en su totalidad este parámetro, según estos obtenidos está dentro del rango permitido en el decreto 33-95 y el decreto en vigencia 21-2017 que indica un rango de 20 mg/L para la salida del efluente

## 5. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)

En la siguiente tabla se muestra los resultados de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>):

**Tabla 17.** Resultados de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)

Etapas de la PTAR	DBO <sub>5</sub> (mg / L)
Entrada general	601
Pre-tratamiento	406
Tratamiento primario	173
Salida biofiltro	4

Nota: Elaboración propia, en base a información obtenida en campo y resultados de laboratorio emitidos por ENACAL.

La reducción de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) fue de un total de 99%, donde el pre-tratamiento redujo el 32 %, el tratamiento primario redujo el 57%, biofiltro un 98%, lo que indica que está en buen funcionamiento dicho sistema y se encuentra dentro del rango permitido en el decreto 33-95 que indica un rango de 110 mg/L para este parámetro.

## 6. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

En la siguiente tabla se muestra los resultados de Demanda Química de Oxígeno (DQO):

**Tabla 18.** Resultados de Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Etapas de la PTAR	DQO (mg / L)
Entrada general	1312
Pre-tratamiento	871
Tratamiento primario	225
Salida biofiltro	31

Nota: Elaboración propia, en base a información obtenida en campo y resultados de laboratorio emitidos por ENACAL.

La reducción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) fue de un total de 98%, el pre-tratamiento redujo un 34%, el tratamiento primario redujo 74%, el biofiltro removi6 86%, lo que indica que está en buen funcionamiento dicho sistema y se encuentra

del rango permitido en el decreto 33-95 y el decreto en vigencia 21-2017 que indica un rango de 220 mg/L para este parámetro.

## 7. Nitrógeno total

En la siguiente tabla se muestra los resultados de Nitrógeno total:

**Tabla 19.** Resultados Nitrógeno total

<b>Etapas de la PTAR</b>	<b>Nitrógeno total ( mg / L)</b>
Entrada general	25,67
Salida biofiltro	1,41

Nota: Elaboración propia, en base a información obtenida en campo y resultados de laboratorio emitidos por ENACAL

La remoción de Nitrógeno total fue de un total de 94.50%, lo que indica que está en buen funcionamiento dicho sistema y se encuentra dentro del rango permitido en el decreto 33-95, y el decreto en vigencia 21-2017, que indica un rango máximo permisible de 45 mg/L.

## 8. Fósforo total

En la siguiente tabla se muestra los resultados de Fósforo total:

**Tabla 20.** Resultados de Fósforo total

<b>Etapas de la PTAR</b>	<b>Fósforo total (mg / L)</b>
Entrada general	17,45
Salida biofiltro	3,49

Nota: Elaboración propia, en base a información obtenida en campo y resultados de laboratorio emitidos por ENACAL

La remoción de Fósforo total fue de 80 %, lo que indica que está en buen funcionamiento dicho sistema y se encuentra dentro del rango permitido en el decreto

33-95 y el decreto en vigencia 21-2017 que indica un rango de 15 mg/L para este parámetro.

## 9. Coliformes termo tolerantes

En la siguiente tabla se muestra los resultados Coliformes termo-tolerantes:

**Tabla 21.** Resultados de Coliformes termo tolerantes

<b>Etapas de la PTAR</b>	<b>Coliformes termotolerantes (NMP / 100 mL)</b>
Entrada general	2,40E+08
Tratamiento primario	2,80E+07
Salida biofiltro	0,00E+00

Nota: Elaboración propia, en base a información obtenida en campo y resultados de laboratorio emitidos por ENACAL

Aquí se observa que la cantidad de Coliformes Termo-tolerantes es variable en sus diferentes etapas, la remoción total fue de 100%, lo que indica que está en buen funcionamiento dicho sistema y se encuentra dentro del rango permitido en el decreto 33-95 que indica un rango de 100 mg/L para este parámetro.

## 10. Calidad del efluente y eficiencia del sistema de tratamiento.

En tabla 22 se resume los resultados de los efluentes y eficiencia de la planta en general, comparándola con los límites permisibles de los Decretos 33-95 y 21-2017 del MARENA.

**Tabla 22.** Resumen de las eficiencias de remoción del tratamiento en general

Parámetro	Unidad	Entrada Gral	Entrada biofiltro	Salida del Biofiltro	Eficiencia a biofiltro %	Eficiencia a del sistema	Decreto 33-95	Decreto N°21-2017
SST	mg/l	504		6		98,81	100	100
Aceites y grasas	mg/l	179		0		100,00	20	
DBO <sub>5</sub>	mg/l	601	173	4	97,69	99,33	110	110
DQO	mg/l	1312	225	31	86,22	97,64	220	220
Nitrógeno	mg/l	25.67		1.41		94,51	20	45
Fósforo	mg/l	17.45		3.49		80,00	5	15
Coliformes fecales	NMP/100 ml	2,40E+08	2,80E+07	0,00E+00	86,2	100,00	1.00+03 1*10 <sup>4</sup>	1.00+04

**Nota:** Elaboración propia en base a información obtenida en campo y resultados de laboratorio emitidos por ENACAL.

Como se observa en cuadro anterior, la calidad de los efluentes del sistema de tratamiento cumple con todos los parámetros de las Normas de vertidos, Decreto 33-95 y 21-2017 y las eficiencias promedios del sistema de tratamiento son bastante altas, en general el promedio total del sistema es del 96%.

*CAPÍTULO VI*  
*CONCLUSIONES Y*  
*RECOMENDACIONES*

## 6.1 Conclusiones

1. De acuerdo a los resultados obtenidos del Laboratorio de la Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (ENACAL) en la cual se evaluó cada uno de los parámetros establecidos en los Decretos 33-95 y 21-2017 artículos 24 y 25 en la planta de tratamiento de aguas residuales del Municipio de Masatepe, los resultados demuestran que se está cumpliendo con el 96% de lo establecido en los mencionados artículos, lo cual indica que la planta está trabajando eficientemente en la remoción de estos parámetros y no está generando ningún tipo de contaminación ambiental en la zona, determinando así la efectividad de este de sistema, de tal forma que la composición Tanque Imhoff + Biofiltro son viables para evitar contaminación ambiental.
2. En la medición de los caudales, se observó que la hora de mayor caudal fue entre las 9:00 a.m.-10:00 a.m., esto debido al horario de abastecimiento de agua potable en la zona de intervención con redes de alcantarillado sanitario, en la cual existe un sistema deficiente de agua potable. El caudal en la entrada la PTAR fue de un máximo promedio de 220,08 m<sup>3</sup>/día (2.55 lps), el caudal mínimo promedio registrado fue de 40.40 m<sup>3</sup>/día (0.47 lps) entre las 2:00 - 3:00 p.m., el caudal medio promedio de 115.29 m<sup>3</sup>/día (1.33 lps), equivalente a un 25% de su caudal de diseño. Cabe mencionar que en el día sábado se registró un aumento del caudal (ver tabla 28, en Anexos) debido a que hay más presencia de la población en sus viviendas, culturalmente este día se utiliza para realizar lavado de ropa de semana, limpieza de vivienda, entre otros.
3. Según monitoreos realizados en el biofiltro, el caudal promedio de entrada fue de 62.08 m<sup>3</sup>/día y el caudal promedio de salida fue de 75,99 m<sup>3</sup>/día, lo que indica que el caudal es mayor en la salida de la planta, sin embargo, es importante mencionar, al momento de realizar la medición no fue lo más confiable, ya que se realizó en uno de los vertederos, cerrando el otro, pero siempre hubo una filtración de caudal a través del otro. La carga hidráulica se encuentra por debajo del rango

establecido carga hidráulica de diseño 37 m/año recomendada para Nicaragua en estudios realizados en varias plantas de tratamiento<sup>11</sup>. Actualmente el biofiltro tiene un período de retención mucho mayor de lo indicado en los rangos establecidos en la bibliografía <sup>12</sup>, lo que permite mayor eficiencia en la remoción de E.coli.

4. Ampliar el sistema de alcantarillado sanitario existente el Municipio de Masatepe, ya que según datos obtenidos en los monitoreos de caudales realizados demuestran que la planta está trabajando solo en un 25% (115.29 m<sup>3</sup>/día) equivalente a 190 conexiones de alcantarillado sanitario, con respecto a su caudal de diseño con valor de 460 m<sup>3</sup>/día para 811 conexiones correspondiente a la primera etapa de este proyecto. Actualmente existen 2,789.87 ml de red de tuberías de alcantarillado sanitario que cubren 245 conexiones en todo su recorrido, lo que impide que se pueda lograr utilizar la planta a su máxima capacidad.

---

<sup>11</sup>Investigaciones y Experiencias con Biofiltro en Nicaragua y Centroamérica, 2004.



## 6.2 Recomendaciones

1. Se hace necesario realizar aforos y muestreos los fines de semana ya que se observó un mayor caudal el día sábado, según información en la planta de tratamiento sólo se hacen mediciones de lunes a viernes, por lo cual es necesario incluirlos, ya que estos días es cuando permanece mayor cantidad de personas en sus viviendas y hay mayor consumo de agua potable en las viviendas, esto permitirá conocer los caudales en los días de mayor consumo, permitiendo así obtener valores más reales y también en época de lluvias es necesario realizar estos muestreos para poder para verificar el uso de canal de demasía y confirmar su eficiencia en la prevención de sobrecargas hidráulicas en la PTAR, ya que según ENACAL actualmente hay pobladores que tienen conectado su sistema de agua pluvial al sistema de alcantarillado sanitario y esto hace que el sistema se sobrecargue, siendo imposible controlar este tipo de conexiones.
2. Según datos obtenidos la planta actualmente está trabajando eficientemente en la remoción de contaminantes cumpliendo así los decretos 33-95 y 21-2017, sin embargo, hay problemas desde el punto de vista operacional en cada una de las unidades, tales como: en el tanque Imhoff se está utilizando mayor tiempo en el periodo de retención del sedimentador, en el volumen x habitante utiliza mayor  $m^3/hab$ , el tiempo de digestión de lodos está utilizando más días de lo indicado en normas de diseño.
3. Revisar el canal parshall “B”, con especialistas en la materia, al momento de tomar la medición del caudal, se observó que se disminuía en un 50 % al llegar a este punto con referente al caudal de entrada la PTAR, a simple vista no se observa ninguna fuga en el canal que conduce a este canal, pero es conveniente revisar el funcionamiento del mismo.
4. Es necesario construir vertedero en la salida del tanque Imhoff para facilitar la medición de caudales.

5. En el biofiltro, es necesario construir vertedero en la entrada y salida de mayor diámetro para poder medir los caudales exactos que entran y salen de esta etapa.
6. Construir una lámina que cubra el canal de distribución en la entrada del biofiltro, ya que este por la particularidad del lugar, se llena de hojas de árboles obstaculizando la libre circulación del agua.
7. Es necesario remover el primer metro del lecho filtrante en todo el ancho de la unidad de biofiltro, para evitar estancamiento de las aguas en la entrada y proliferación de mosquitos.
8. Se requiere mejorar las cercas y evitar la entrada de animales a la planta de tratamiento ya que se comprobó que las plantas de zacate Taiwán estaban pequeñas debido a que había caballos que entran a comérselas.
9. Resembrar plantas de zacate Taiwán, ya que observan lugares dentro del biofiltro vacías.
10. Es necesario garantizar algunos materiales de equipo al operador de la planta, tales como: guantes, mascarillas, casco, gafas, botiquín médico de primeros auxilios, jabón, cloro; desnatador, escobas, machete, carretilla, pala, pico, cinta métrica; esto con el fin salvaguardar la salud del operario, y así mismo que pueda realizar mejor labor en la limpieza en la planta de tratamiento.
11. Se recomienda realizar visitas periódicas a la planta de tratamiento para verificar y garantizar el cumplimiento del Protocolo de Operación y Mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, (ver tabla 30 en anexos), ya que se observó encharcamiento en la entrada del biofiltro (ver foto 17), los canales de entrada se obstruyen por hojas lo cual evita la libre circulación del agua. (ver foto 18)

12. Se precisa cumplir con lo establecido en Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense para regular los Sistemas de Tratamientos de Aguas Residuales y su reuso NTON 05 027-05 en el artículo 15 sobre Manejo de Lodos que en el ítem 15.4 establece: Que los generadores deberán realizar la caracterización de los lodos antes y después del tratamiento, para su posterior disposición final ya sea como abono orgánico, material para rehabilitación de terrenos, depositados en rellenos sanitarios, incinerados, confinamiento controlado, de acuerdo a las características finales del lodo obtenido, ya que actualmente el lodo generado en la era del secado se deja en la orillas en la misma y no se deposita en otro sitio, al igual que los sólidos retenidos en la rejilla son dejados al aire libre, no reciben ningún tipo de tratamiento.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (OPS) / (CEPIS) (2005). Guía para el diseño de tanques sépticos, tanques Imhoff y lagunas de estabilización Lima.
- Agencia Suiza para la Cooperación y el Desarrollo (COSUDE): Proyecto ASTEC, UNI - RUPAP, Nicaragua. Programa de Agua y Saneamiento, América Latina y el Caribe WSP-LAC 2006) *Biofiltro: Una opción sostenible para el tratamiento de aguas residuales en pequeñas localidades*, 2006.
- Báez, R; & Martínez, R (2015). Diagnostico socio – ambiental de aguas residuales emitidas en el II semestre del año 2014 por la planta de tratamiento de aguas residuales. (PTAR-Boaco) Boaco, 2014.
- Cenagua, (1999). *Sistemas de tratamiento de aguas servidas por medio de humedales artificiales*. Bogotá, Colombia.
- ENACAL (2015). Manual de operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Ciudad de Masatepe tanque Imhoff seguido de biofiltro.
- De Azevedo J & Acosta G, Manual de Hidráulica, pág. 476.
- Delgadillo, O, • A, Camacho • L, Pérez • M, Andrade (2010) *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Cochabamba, Bolivia.
- Duchicela V, M Toledo (2014). *Determinación de eficiencia de especies vegetales: Totorá - achira implementadas en biofiltro para agua de riego en Punín 2013*. Riobamba, Ecuador.
- Fonseca, B. (2018). *Evaluación de planta de tratamiento de aguas residuales de Diría – Diriomo, Departamento de Granada*. Managua, Nicaragua.
- Fonseca, K. (2014). *Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales para la central ecuatoriana de servicios agrícolas – Riobamba 2013*. Riobamba, Ecuador.
- Gallegos, O. (2012). *Evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales de una planta de procesos avícola*. Universidad Nacional de Ingeniería, Recinto

- Universitario Simón Bolívar, Facultad de Ingeniería Química .Managua, Nicaragua.
- Gauss, M.(2004). *Investigaciones y experiencias con biofiltros en Nicaragua y Centroamerica*. Managua, Nicaragua.
- Gutiérrez, A, (2010). *Diseño de un modelo de planta para tratamiento de aguas residuales domésticas con tanques fibratank Universidad Simón Bolívar*.
- Haro, M. (2010). *Evaluación de un humedal artificial como tratamiento de agua residual en un asentamiento irregular, ciudad universitaria* (d.f.). Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería División de Ingeniería Mecánica e Industrial. DF, México.
- Hernández S; Collado, R; y Baptista C,(2004). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill Interamericana México.
- Herrera, A. (2013). *Evaluación de un biofiltro ubicado en el Municipio de la libertad, Chontales*. Universidad Nacional de Ingeniería, Recinto Universitario Simón Bolívar, Facultad de Ingeniería Química Managua, Nicaragua.
- INAA. (2004). *Disposiciones para el control contaminación provenientes descargas de aguas residuales domesticas, industriales y agropecuarias decreto 33-95*. Managua, Nicaragua.
- INAA. (2004). *Guías Técnicas para el Diseño de Alcantarillado Sanitario y Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales*. Managua, Nicaragua.
- Lara, J. (1999), *Depuración de aguas residuales urbanas mediante humedales artificiales* Barcelona, Universidad Politécnica de Cataluña.
- Lazcano, C. (1981). *Riego con desagües tratados; manual de metodologías para análisis biológico de aguas residuales y suelos*. Tacna, Perú.
- López, S, García, E (2011). *Análisis jurídico de la legislación nacional sobre vertidos residuales domésticos e industriales en cuerpos de aguas superficiales*. Universidad Centroamericana. Managua, Nicaragua.
- Lux, M, (2010). *Medidores de flujo en canales abiertos*, Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería Escuela de Ingeniería civil. Guatemala.
- MARENA, (2017) *Reglamento en el que se establecen las disposiciones para el vertido de aguas residuales, Decreto no. 21-2017*. Managua, Nicaragua.

- MARENA, (1995). *Disposiciones para el control contaminación provenientes descargas de aguas residuales domésticas, industriales y agropecuarias, Decreto no. 33-95*. Managua, Nicaragua.
- Marín, J. (2010). *Evaluación de la remoción de contaminantes en aguas residuales en humedales artificiales utilizando la guadua angustifolia kunth. Pereira*. Universidad Tecnológica de Pereira Facultad de Tecnología. Managua, Nicaragua .
- Mercado, B. (2011). *Evaluación de las lagunas de estabilización de la Ciudad de Nagarote – departamento de León*. Universidad Nacional de Ingeniería, Recinto Universitario Pedro Aráuz Palacios, Facultad de Tecnología de la Construcción. Managua, Nicaragua.
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental – OEFA (2014) Fiscalización ambiental en aguas residuales para el cambio.
- Pagoaga, I. (2010). *Evaluación y sistematización de la operación y mantenimiento del humedal artificial de la planta san miguel de cementos progreso. Guatemala*. Universidad de San carlos de Guatemala, Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos hidricos .Guatemala, Guatemala.
- Rabat J. (2016) *Análisis de los modelos de diseño de los sistemas naturales de depuración*. Universidad de Alicante.
- Recuperado de <http://nihonkasetu.com/es/dbo-y-dqo-para-caracterizar-aguas-residuales/>(Nihon, 2017).
- Recuperado de [http://aulavirtual.usal.es/aulavirtual/Demos/Simulacion/modulos/Curso/uni\\_03/U3C3S5.htm](http://aulavirtual.usal.es/aulavirtual/Demos/Simulacion/modulos/Curso/uni_03/U3C3S5.htm)
- Recuperado de [https://es.wikipedia.org/wiki/Planta\\_de\\_tratamiento\\_de\\_liquidos\\_cloacales#Características\\_físicas](https://es.wikipedia.org/wiki/Planta_de_tratamiento_de_liquidos_cloacales#Características_físicas)
- Recuperado de <https://www.significados.com/ph/>
- Recuperado de: <https://normasapa.com/normas-apa-2019-cuestiones-mas-frecuentes/comment-page-18/#comments>

- Rodríguez, A. (2011). *Evaluación del sistema de Tratamiento de aguas residuales. Universidad Nacional de Colombia*. Bogotá, Colombia.
- Valencia, A. (2013). *Diseño de un sistema de tratamiento para las aguas residuales de la cabecera parroquial de San Luis - provincia de Chimborazo*. Escuela Superior Técnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador.
- Zúñiga K & V Solórzano (2016) *Eliminación de colorantes orgánicos presentes en efluentes de industrias cartoneras aplicando tratamiento biológico mediante un reactor aerobio*. Guayaquil – Ecuador

*ANEXOS*



**Tabla 23.** Punto Medición: Entrada General de la Planta/Promedio de 3 días de monitoreo, Canal Parshall “A”, W= 9”

HORA	H (cm)	Q (l/s)	Q (m³/día)
6:00 AM	1,73	1,13	97,32
7:00 AM	2,37	1,75	150,99
8:00 AM	2,90	2,38	205,63
9:00 AM	3,03	2,55	220,08
10:00 AM	2,40	1,97	170,63
11:00 AM	1,13	0,65	56,45
12:00 PM	0,93	0,48	41,66
1:00 PM	1,30	0,71	61,38
2:00 PM	1,00	0,47	40,40
3:00 PM	1,53	0,92	79,78
4:00 PM	2,27	1,67	143,92

*Nota:* Elaboración propia, en base a información obtenida en campo

**Tabla 24.** Punto Medición: Entrada Tanque Imhoff / Promedio de 3 días de monitoreo, Canal Parshall “B”, W= 6”

HORA	H (cm)	Q (l/s)	Q (m³/día)
6:00 AM	1,47	0,49	42,74
7:00 AM	1,43	0,47	40,67
8:00 AM	2,30	0,95	82,42
9:00 AM	2,07	0,79	68,66
10:00 AM	1,70	0,76	65,71
11:00 AM	0,77	0,18	15,50
12:00 PM	0,60	0,12	10,76
1:00 PM	0,80	0,18	15,80
2:00 PM	0,67	0,14	12,48
3:00 PM	0,90	0,23	19,52
4:00 PM	1,57	0,81	70,24

*Nota:* Elaboración propia en base a información obtenida en campo

**Tabla 25.** Punto Medición: Salida Tanque Imhoff / Promedio de 3 días de monitoreo

HORA	Q (l/s)	Q (m³/día)
6:00 AM	2,20	189,76
7:00 AM	2,47	213,13
8:00 AM	3,02	261,15
9:00 AM	3,15	272,24
10:00 AM	2,47	213,02
11:00 AM	1,22	105,09
12:00 PM	0,90	77,95
1:00 PM	0,68	58,77
2:00 PM	0,68	58,72
3:00 PM	0,92	79,83
4:00 PM	1,31	112,98

Nota: Elaboración propia, en base a información obtenida en campo

**Tabla 26.** Punto Medición: Entrada Biofiltro / Promedio de 3 días de monitoreo

HORA	Q (l/s)	Q (m³/día)
6:00 AM	0,80	69,26
7:00 AM	0,85	73,63
8:00 AM	1,01	87,41
9:00 AM	1,45	125,60
10:00 AM	1,27	109,91
11:00 AM	0,46	39,43
12:00 PM	0,38	32,74
1:00 PM	0,29	25,06
2:00 PM	0,41	35,42
3:00 PM	0,46	39,35
4:00 PM	0,52	45,04

Nota: Elaboración propia, en base a información obtenida en campo

**Tabla 27.** Punto Medición Salida Biofiltro / Promedio de 3 días de monitoreo

<b>HORA</b>	<b>Q (l/s)</b>	<b>Q (m³/día)</b>
6:00 AM	0,31	26,99
7:00 AM	0,26	22,89
8:00 AM	0,29	24,73
9:00 AM	0,58	50,28
10:00 AM	1,17	101,21
11:00 AM	1,52	131,52
12:00 PM	1,55	133,86
1:00 PM	1,25	108,43
2:00 PM	1,08	93,17
3:00 PM	0,86	74,58
4:00 PM	0,78	67,45

Nota: Elaboración propia en base a información obtenida en campo

**Tabla 28.** Monitoreo de Caudales por día

D-1:Viernes	<b>106,57</b>	m³/día
D-2:Sábado	<b>139,17</b>	m³/día
D-:Miércoles	<b>115,29</b>	m³/día

Nota: Elaboración propia en base a información obtenida en campo

**Tabla 29.** Protocolo de Operación y Mantenimiento de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales  
Tecnología: Tanque Imhoff – Biofiltro

UBICACION	PUNTO	MANTENIMIENTO		FRECUENCIA
Pozo de Visita	1	Limpieza	Extracción de sólidos grandes y desechos arrastrados dentro de la colectora para evitar que entren al sistema.	Tres (3) veces por semana
Rejilla manual	2	Limpieza	Eliminar cualquier residuo sólido de gran tamaño, como piezas de madera, bolsas y botellas plásticas, trapos, etc.	Diario
			Limpiar y lavar cuantas veces sea necesario.	Diario
Desarenador	3	Operación de compuerta -	Colocar las compuertas en la entrada y salida del canal a limpiar para evitar la llegada de agua.	Una vez por semana
		Abrir la válvula de drenaje	Se deberá abrir la válvula de 4" que corresponde a la sección del canal de desarenador a limpiarse. Esta se ubica dentro de la caja de registro adherida al desarenador. Para ello existe una llave que permite la apertura y cierre de la válvula desde el nivel del suelo natural.	
		Limpieza de cámara de sedimentación	Desprender y remover el material adherido en el fondo y en las paredes de la cámara, utilizando pala y rastrillo. Continuar con esta acción permitiendo la evacuación de arena y lodos por la tubería de drenaje.	
			Raspar el fondo del canal y dejarlo completamente limpio.	
		Cerrar la válvula de drenaje	Cerrar la compuerta que está a la salida del desarenador limpiado y seguidamente la compuerta a la entrada para iniciar la operación de la unidad.	
			Una vez limpiado el canal se deberá cerrar la válvula de 4" que estaba abierta.	
Canal de conducción	4	Limpieza	Quitar la compuerta que está a la salida del desarenador limpiado y seguidamente la compuerta a la entrada para iniciar la operación de la unidad.	Cada quince días
			Repetir el mismo procedimiento en el otro canal desarenador.	

Nota: Información tomada de ENACAL.

Continuación Tabla 30.

UBICACION	PUNTO	MANTENIMIENTO		FRECUENCIA
Canaletas Parshall	5	Limpieza	Deben eliminarse depósitos y costras que puedan formarse.	Cada quince días
		Lectura	Deben anotarse al menos tres lecturas: 1. Cuando llega el operador 2. A media mañana y 3. Cuando se termina la jornada laboral / Se deben registrar lecturas por 24 horas.	Diario / Mensual
Tanque Imhoff	6	Limpieza de canal entrada	Desprender y remover arena, lodos y todo el material adherido en el fondo y en las paredes, utilizando escoba, pala y rastrillo.	Cada mes
		Pantallas de acero inoxidable	En la entrada y salida del tanque. Se debe desprender y remover el material adherido en las paredes y el fondo, utilizando escoba y desnatador.	Cada 2 días
		Limpieza espejo de agua	Remover natas, grasas y sólidos flotantes con un desnatador	Cada 2 días
		Purga de lodos	Para iniciar la purga de lodo se debe verificar que el tanque a drenar este lleno de agua (el nivel mínimo de agua en el tanque deberá ser igual o mayor a la cota de fondo en el canal de salida).	Cada dos meses
			Abrir una válvula de purga para que por carga hidráulica se descarguen los lodos acumulados del compartimiento a limpiar, cerrar las válvulas cuando el agua con lodos cambie al color del agua residual (gris). Se debe tener el cuidado de que el nivel del agua en el tanque nunca descienda a más de 70 cm.	
			Se debe repetir el proceso indicado en los dos o tres días posteriores, esto implica que el tanque debe estar nuevamente lleno para proceder con la purga.	
Tuberías de interconexión, cajas de distribución de flujo y de inspección	7	Limpieza	Desprender y remover la arena, lodos y todo el material adherido en el fondo y en las paredes, utilizando escoba, pala y rastrillo.	Cada quince días
Biofiltro	8	Limpieza	Limpieza de lodos y sólidos flotantes en canal de distribución de caudal.	Semanal
		Chapoda	Chapoda y eliminación de malezas en la periferia externa del biofiltro, en una banda de tres (3) metros.	Cada mes
		Control de maleza	A lo interno del biofiltro eliminar cualquier planta ajena a la que contiene el biofiltro, extracción de todo material vegetativo seco depositado sobre el suelo de la unidad.	Cada mes
		Cosecha	Cosecha de plantas phragmites en el área de biofiltro.	Cada 4 meses
		Limpieza	En la caja de control de nivel, limpiar el material sedimentado y cualquier tipo de desecho. De igual manera las costras que se forman en las mangueras. Una vez limpiada cada caja, se deberá tapar nuevamente.	Cada mes
		Limpieza de medio filtrante	Sacar de operación la unidad, cortando la entrada de agua y a la vez manipulando la manguera de la caja de control de nivel hasta la cota de fondo, para iniciar el drenaje de toda el agua acumulada. Después que toda el agua ha sido evacuada, dejar en descanso la celda por 15 días.	Anual

Nota: Información tomada de ENACAL.

Continuación Tabla 30.

UBICACION	PUNTO	MANTENIMIENTO		FRECUENCIA
Biofiltro	8	<i>Limpieza de medio filtrante</i>	Pasado el lapso de descanso, colocar la manguera de control de nivel 10 cm por encima del nivel de operación normal. Iniciar el llenado de la celda con el efuente del tanque Imhoff, hasta alcanzar el nivel deseado. Con el agua en este nivel, cortar la entrada del flujo y de inmediato proceder a evacuar nuevamente la unidad hasta que se alcance el nivel de fondo del biofiltro nuevamente.	Anual
Biofiltro	8	<i>Limpieza de medio filtrante</i>	Seguidamente colocar la manguera de control de nivel en su punto de operación normal. Reiniciar el llenado de la celda normalmente, es decir, con el caudal correspondiente que llega del tanque Imhoff.	
			Repetir el mismo procedimiento para las otras unidades de Biofiltro. Estos trabajos se deben de realizar en verano, entre los meses de enero a marzo.	
Era de secado	9	<i>Chapoda</i>	Eliminación de maleza	Cada mes
		<i>Limpieza</i>	Traslado de lodos secos fuera del lecho	Cada 4 meses
Laboratorio		<i>Registrar datos</i>	Parámetros operacionales pH, Temperatura y Sólidos Sedimentables a la entrada y salida del tanque Imhoff	Diario

*Nota:* Información tomada de ENACAL.



Foto 1. Obra de llegada.



Foto 2. Vertedero de Demasía





Foto 3. Rejillas Tipo Manual



Foto 4. Desarenador





Foto 5. Canal Parshall "A" Entrada Gral



Foto 6. Canal de conducción



Foto 7. Canal Parshall "B" Entrada T.I



Foto 8. Tanque Imhof



Foto 9. Lecho de Secado



Foto 10. Biofiltro

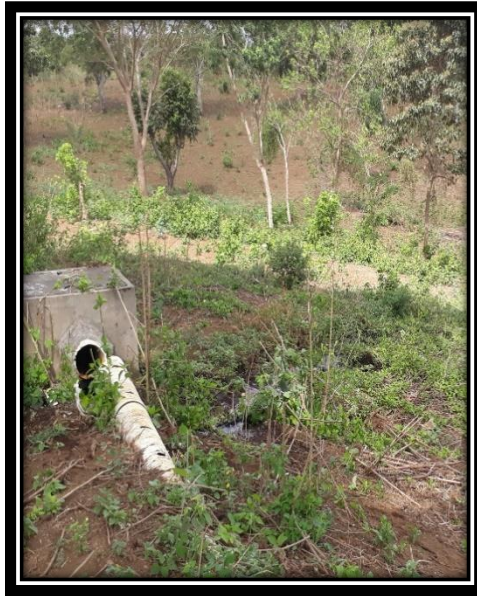


Foto 11. Salida de Afluente





Foto 12. Medición de Caudales de Aguas Residuales



Foto 13. Etiquetado y Rotulado de Toma de Muestras de Aguas Residuales



Foto 14. Toma de Muestras de Aguas Residuales



Foto 15. Medición de Ph y Temperatura de Aguas Residuales

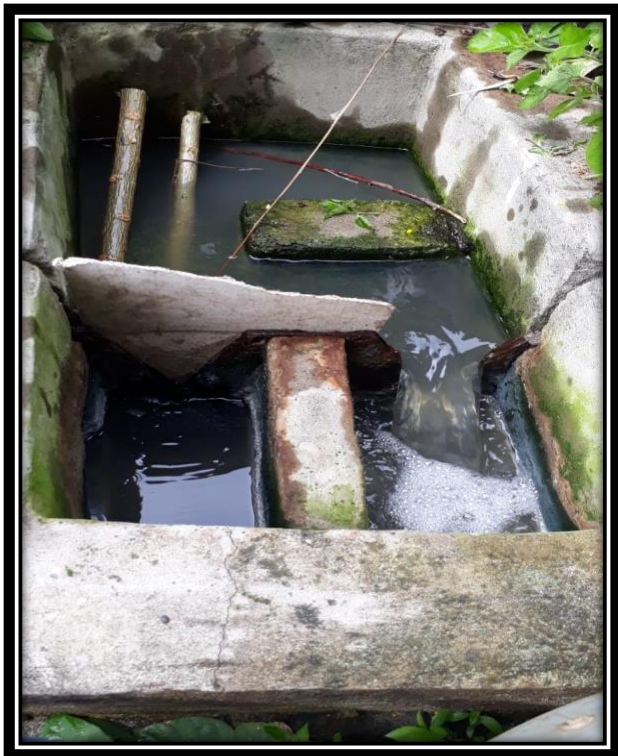


Foto 16. Vertederos Biofiltro



Foto 17. Encharcamiento Biofiltro



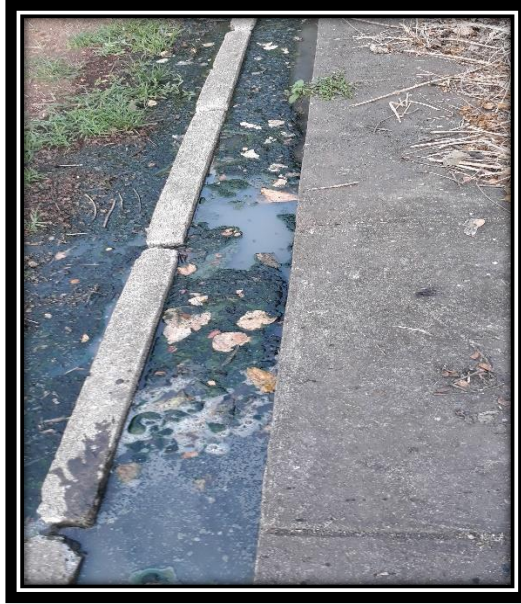


Foto 18. Canal de distribución Biofiltro